

**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 200 экз.

ISSN 1998-426X



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

© «Радиационная гигиена», 2019

РАДИАЦИОННАЯ ГИГИЕНА

RADIATIONNAYA GYGIENA

Председатель редакционного совета
Г.Г. Онищенко

Главный редактор
И.К. Романович



Том 12 № 3, 2019

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)

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

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

Ермолина Елена Павловна — ФГБОУ ДПО Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования Министерства здравоохранения Российской Федерации (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. 12 № 3, 2019

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)

Vasily 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 12 № 3, 2019

НАУЧНЫЕ СТАТЬИ

Башков А.Н., Шейх Ж.В., Восканян С.Э., Дунаев А.П., Попов М.В., Удалов Ю.Д., Самойлов А.С.

Возможность снижения лучевой нагрузки на пациентов за счет оптимизации протокола компьютерной томографии органов брюшной полости и забрюшинного пространства в зависимости от нозологии злокачественного процесса.....6

Трапезников А.В., Николкин В.Н., Коржавин А.В., Трапезникова В.Н.
Радиационно-гигиеническая оценка содержания и распределения ^{90}Sr и ^{137}Cs в ихтиофауне Обь-Иртышской речной системы16

Рамзаев В.П., Барковский А.Н., Варфоломеева К.В.
Вертикальное распределение ^{137}Cs в дерново-подзолистой песчаной почве на лугах и в лесах Брянской области в 2015–2016 гг.27

Финашов Л.В., Востротин В.В., Янов А.Ю.
Тритий в моче у жителей города Озерска Челябинской области в 2016 г.42

Репин Л.В., Библин А.М., Вишнякова Н.М., Соколов Н.В., Давыдов А.А.
Проблемы риск-коммуникации: методические подходы к использованию социологических данных в планировании информационной работы с населением по вопросам радиационной безопасности50

Храмцов Е.В.
Радиационная обстановка на территории проведения мирного ядерного взрыва «Глобус-1» после выполнения реабилитационных работ58

И.Г. Шацкий
Оценка доз медицинского облучения при рентгено-графических стоматологических исследованиях69

Кононенко Д.В., Кормановская Т.А.
Оценка доз облучения населения субъектов Российской Федерации за счет космического излучения78

ОБЗОРЫ

Соснина С.Ф., Сокольников М.Э.
Наследуемые эффекты у потомков, связанные с вредным воздействием на родителей84

САНИТАРНО-ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКИЙ НАДЗОР

Самойлов А.С., Романович И.К., Грачев М.И., Саленко Ю.А., Барковский А.Н., Репин В.С., Богданова Л.С.
К вопросу о координации действий сил и средств организаций и учреждений ФМБА России и Роспотребнадзора в чрезвычайных ситуациях радиационного характера96

Сапрыкин К.А., Громов А.В., Иванов С.А.
Обеспечение радиационной безопасности при проведении Чемпионата мира по футболу 2018106

НОРМАТИВНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ДОКУМЕНТЫ

Романович И.К.
Ликвидация ядерного и радиационного наследия России: научное обеспечение радиационно-гигиенического нормирования114

ЕСКИД И РАДИАЦИОННО-ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ПАСПОРТИЗАЦИЯ
Голиков В.Ю., Чипига Л.А., Водоватов А.В., Сарычева С.С.
Дополнения и изменения в оценке эффективных доз внешнего облучения пациентов при медицинских исследованиях120

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ ЖУРНАЛА «РАДИАЦИОННАЯ ГИГИЕНА»133

CONTENTS

Vol. 12 № 3, 2019

RESEARCH ARTICLES

Bashkov A.N., Sheykh Zh.V., Voskanyan S.E., Dunaev A.P., Popov M.V., Udalov Yu.D., Samoylov A.S.
Prospects for the reduction of the patient doses based on the optimization of the CT abdomen protocols for the different types of malignancies14

Trapeznikov A.V., Nikolkin V.N., Korzhavin A.V., Trapeznikova V.N.
Radiation-hygienic assessment of the concentration and distribution of ^{90}Sr and ^{137}Cs in ichthyofauna of the Ob'-Irtys' river system25

Ramzaev V.P., Barkovsky A.N., Varfolomeeva K.V.
Vertical distribution of ^{137}Cs in soddy-podzolic sandy soil in grasslands and forests of the Bryansk region in 2015–201640

Finashov L.V., Vostrotin V.V., Yanov A.Yu.
Tririum in urine in residents of Ozyorsk, the Chelyabinsk region in 201648

Repin Leonid V., Biblin Artem M., Vishnyakova Nadezhda M., Sokolov Nikolay V., Davydov Artem A.
Problems of risk communication: methodological approaches to the use of sociological data in planning of information work with the population on radiation safety issues56

Khrantsov E.V.
Radiation situation on the territory of the peaceful nuclear explosion «Globus-1» after performing the rehabilitation works67

Shatskiy Ilya G.
Dose assessment of medical exposure of radiographic dental studies76

Kononenko D.V., Kormanovskaya T.A.
Assessment of the doses to the population of the regions of Russia from external exposure to the cosmic radiation82

REVIEW

Sosnina S.F., Sokolnikov M.E.
Heritable effects in offspring associated with harmful exposure to parents (Literature review)93

SANITARY AND EPIDEMIOLOGICAL SURVEILLANCE

Samoylov A.S., Romanovich I.K., Grachev M.I., Salenko Yu.A., Barkovsky A.N., Repin V.S., Bogdanova L.S.
On the issue of coordination of the activities of forces and means of organizations and institutions of the Federal Medical and Biological Agency of Russia and Rospotrebnadzor in emergency situations of a radiation nature104

Saprykin K.A., Gromov A.V., Ivanov S.A.
Ensuring radiation safety at the FIFA World Cup 2018112

STANDART AND METHODOICAL DOCUMENTS

Romanovich I.K.
Termination of the nuclear and radiation legacy of Russia: scientific basis for the radiation-hygienic regulation118

ISDCR AND RUSSIAN FEDERATION RADIATION-HYGIENIC PASSPORTIZATION
Golikov V.Yu., Chipiga L.A., Vodovатов A.V., Sarycheva S.S.
Supplements and adjustments to the method of the assessment of the effective dose from the external exposure of the patients131

JOURNAL OF RADIATION HYGIENE – INSTRUCTIONS FOR AUTHORS133

Возможность снижения лучевой нагрузки на пациентов за счет оптимизации протокола компьютерной томографии органов брюшной полости и забрюшинного пространства в зависимости от нозологии злокачественного процесса

А.Н. Башков¹, Ж.В. Шейх^{2,3}, С.Э. Восканян¹, А.П. Дунаев⁴, М.В. Попов¹, Ю.Д. Удалов¹,
А.С. Самойлов¹

¹Государственный научный центр – Федеральный медико-биофизический центр имени А.И. Бурназяна, Федеральное медико-биологическое агентство России, Москва, Россия

²Городская клиническая больница имени С.П. Боткина Департамента здравоохранения г. Москвы, Москва, Россия

³Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования, Министерство здравоохранения Российской Федерации, Москва, Россия

⁴Московская городская клиническая онкологическая больница № 62 Департамента здравоохранения г. Москвы, поселок Истра, Московская область, Россия

Снижение лучевой нагрузки при компьютерной томографии является актуальной медицинской задачей в связи с ростом количества исследований и отсутствием общепринятых подходов при повторных исследованиях у онкологических пациентов. В работах различных авторов продемонстрирована целесообразность ограничения протокола компьютерной томографии одной или двумя фазами сканирования при повторных исследованиях у пациентов с онкологическими заболеваниями без потери диагностической информации. В настоящей работе на основе выборки из 514 пациентов были сформированы две группы. В 1 группе (контрольная) пациентам проводилась компьютерная томография органов брюшной полости по трех- или четырехфазному протоколу. Во 2 группе этим же пациентам с интервалом от 1 до 5,5 месяцев проводилась компьютерная томография органов брюшной полости по одно- или двухфазному протоколу в зависимости от степени васкуляризации опухолевой ткани и клинической ситуации. При этом было продемонстрировано снижение средней эффективной дозы у пациентов в группе 2 по сравнению с группой 1 на 63% ($p < 0,05$). Во всех случаях различные патологические изменения, характеризующие онкологический процесс и диагностируемые при трех- или четырехфазном протоколе, были визуализированы и при одно- или двухфазном протоколе. Таким образом, информативность компьютерной томографии не снижалась.

Ключевые слова: компьютерная томография, лучевая нагрузка, эффективная доза, оптимизация протокола, редукция мультифазного протокола, однофазный протокол, двухфазный протокол.

Введение

В последние десятилетия прослеживается тенденция к увеличению количества исследований методом компьютерной томографии (КТ) [1, 2]. В Российской Федерации (РФ) с 2013 по 2017 г. количество проведенных КТ увеличилось на 61%, что составило в 2017 г. 50,4% от всей дозы медицинского облучения [3]. При этом наибольшая эффективная доза (ЭД) регистрируется при КТ органов брюшной полости (ОБП) с внутривенным контрастным усилением, которое состоит из нескольких фаз. Средняя эффективная доза за одну процедуру/фазу составляет до 15 мЗв, а при сочетании с обследованием других анатомических областей (органы грудной

клетки, малый таз) может достигать 100 мЗв [4]. Одним из способов снижения дозы облучения является уменьшение сканирований при использовании многофазных протоколов компьютерной томографии [5, 6]. Этот принцип в целом известен в рентгенологическом сообществе и подробно описан в популярной в нашей стране монографии М. Прокопа [7]. В ней объяснены понятия гипо- и гиперваскулярных опухолей, а также, какие фазы сканирования необходимо использовать для их визуализации. При повторных исследованиях необходимую информацию о локализации, структуре и размерах опухолевых изменений можно получить, используя одно сканирование в венозной фазе или два сканирования в артери-

Башков Андрей Николаевич Государственный научный центр – Федеральный медико-биофизический центр имени А.И. Бурназяна

Адрес для переписки: 123098, Россия, Москва, ул. Маршала Новикова, д. 23; E-mail: abashkov@yandex.ru

альной и венозной фазах [8]. Наиболее часто повторные КТ-исследования с внут-ривенным контрастированием проводятся пациентам с онкологическими заболеваниями, поэтому в этих случаях уменьшение количества фаз сканирования, очевидно, приведет к снижению лучевой нагрузки, что особенно актуально в детской онкологии. Однако на практике в РФ эта возможность используется недостаточно активно, что находит свое отражение лишь в единичных публикациях, где авторы демонстрируют очевидное снижение облучения пациентов при сокращении протокола КТ-исследования до одного или двух сканирований без снижения диагностической ценности [5, 6, 8–10]. Вероятно, это обусловлено недостаточной уверенностью врачей-рентгенологов в том, что информативность исследования наверняка позволит им визуализировать наблюдаемые патологические изменения или выявить рецидив заболевания у онкологических пациентов, а порой и недостаточной мотивацией применять индивидуальный подход к пациентам при выборе протокола КТ. Кроме того, в доступной литературе, на наш взгляд, недостаточно точно и подробно приведены нозологические формы злокачественного опухолевого процесса, при которых следует выбрать определенное количество сканирований.

Цель исследования – продемонстрировать снижение лучевой нагрузки на пациентов за счет уменьшения количества фаз сканирования при проведении компьютерной томографии органов брюшной полости и забрюшинного пространства с внутривенным контрастированием в зависимости от нозологической формы злокачественного процесса без потери диагностической ценности метода.

Задача исследования – сравнить средние эффективные дозы и информативность компьютерной томографии при мультифазном и одно- или двухфазном протоколах.

Материалы и методы

В ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна с апреля 2009 г. по март 2019 г. повторная КТ ОБП выполнялась пациентам прикрепленного контингента с онкологическими заболеваниями для рестадирования или оценки динамики наблюдаемых патологических изменений. КТ проводилась на мультиспиральном томографе Toshiba Aquilion 64. Параметры фаз сканирования используемого протокола КТ ОБП приведены в таблице 1. В течение вышеобозначенного периода они не менялись.

Возможность использования итеративной реконструкции на указанной модели томографа отсутствует. Для получения данных об эффективных дозах пациентов при КТ ОБП использовалась электронная история болезни. У всех больных после проведения исследования ЭД определялась согласно МУ 2.6.1.2944-11, с использованием аппаратных данных, произведения дозы на длину (DLP, мГр·см), по формуле $E = DLP \cdot eDLP$, где eDLP представляет собой дозовый коэффициент, равный 0,015 мЗв/(мГр·см). С апреля 2009 г. по март 2013 г. исследование проводилось по трех- или четырехфазному протоколу (3 ФП или 4 ФП), выбор которого не был стандартизирован и зависел от времени, прошедшего после последнего исследования, опыта врача-рентгенолога, стремления получить максимальный объем диагностической информации. С сентября 2013 г. по март 2019 г. при проведении динамической КТ мы стали активно применять одно- или двухфазный протокол (1 ФП или 2 ФП) в зависимости от нозологической формы онкологического заболевания или клинической ситуации согласно таблице 2. При выборе количества фаз сканирования использовали данные литературы об их информативности при том или ином злокачественном процессе, а также соответствующим учебно-методическим пособием [11]. В перечень нозологических форм, при которых выбирался необходимый протокол КТ ОБП, помимо непосредственно опухолевых заболеваний органов брюшной полости и забрюшинного пространства, вошли также злокачественные неоплазии других анатомических локализаций для диагностики их гематоген-

Таблица 1

Параметры фаз сканирования протокола КТ-исследования органов брюшной полости и забрюшинного пространства

[Table 1]

Settings of the phase of CT scanning used for examination of abdomen and retroperitoneum]

Параметр сканирования [Settings of the phase of CT scanning]	Значение [Value]
Значение анодного напряжения на рентгеновской трубке [[The value of the anode voltage on the x-ray tube]	120kV
Сила тока [Current intensity]	Автоматическая модуляция (Sure Exposure), SD=10 [Automatic modulation (Sure Exposure), SD=10]
Питч-фактор [Pitch-factor]	0,828
Время одного оборота рентгеновской трубки [Time of one turn of the x-ray tube]	0,5 с [0,5 second]
Поле обзора [Field of view]	50 см [50 cm]
Толщина среза [Slice thickness]	1 мм [1 mm]
Протяженность сканирования [Length of the scanning]	От диафрагмы до уровня крыш вертлужных впадин [From above diaphragm till level of acetabular]

Выбор протокола КТ-исследования у пациентов группы 2 в зависимости от васкуляризации опухоли и клинической ситуации

Таблица 2

[Table 2]

The choice of CT protocol in the group 2 depending on the vascularization of the tumor and clinical situation]

Степень васкуляризации опухоли по данным КТ, клиническая ситуация [The degree of vascularization of the tumor by CT and clinical situation]	2 ФП в артериальной и венозной фазах [2PhP in arterial and venous phases]	1 ФП в венозной фазе [1PhP in venous phase]
Гиперваскулярная опухоль, рестадирирование онкологического процесса, динамика наблюдаемых изменений [Hypervascular tumor, restaging of the cancer process, the dynamic of the observed changes]	Меланома, нейроэндокринный рак, гепатоцеллюлярный рак, рак почки [Melanoma, neuroendocrine cancer, hepatocellular cancer, kidney cancer]	Не применялся [Not applied]
Гиповаскулярная опухоль, рестадирирование онкологического процесса, динамика наблюдаемых изменений [Hypovascular tumor, restaging of the cancer process, the dynamic of the observed changes]	Не применялся [Applied]	Рак легкого, молочной железы, шейки матки, тела матки, желудка, холангиоцеллюлярный рак, колоректальный рак, ходжкинская и неходжкинская лимфома, рак поджелудочной железы, мочевого пузыря, предстательной железы, внеорганные опухоли [Lung cancer, breast cancer, cervical cancer, uterine body, ovary, stomach cancer, cholangiocellular cancer, colorectal cancer, Hodgkin's and non-Hodgkin's lymphoma, pancreatic cancer, bladder cancer, prostate cancer, non-organ tumors]
Опухоль смешанной васкуляризации с учетом данных предыдущих КТ-исследований, необходимость визуализации магистральных сосудов, свищей с мочевыми путями [Mixed tumor vascularization based on the data of the previous CT studies, necessity of the visualization of the vessels, the fistula with the urinary ways]	Применялся [Applied]	Не применялся [Not applied]

Количество пациентов и частота применения различных протоколов КТ ОБП в обеих группах больных

Таблица 3

[Table 3]

The number of patients and the frequency of application of different CT protocols in both groups]

Группа 1 [Group 1]	3 ФП КТ [3 PhP CT]	4 ФП КТ [4 PhP CT]
Группа 2 [Group 2]	1 ФП КТ ОБП [1 PhP CT]	2 ФП КТ ОБП [2 PhP CT]
Количество пациентов, абс. (%) [Number of patients, (%)]	320 (89,4)	38 (11,6)
Итого [Total]	358	156

ного и лимфогенного метастазирования, в частности метастазов в печени, лимфаденопатии и др.

Согласно записям электронной истории болезни, была создана выборка из 514 пациентов, которым была проведена КТ ОБП с применением 3 ФП или 4 ФП (1 группа – контрольная), а при последующем обследовании через интервал от 1 до 5,5 месяцев – 1 ФП или 2 ФП (2 группа). В таблице 3 представлены данные о количестве пациентов в обеих группах в зависимости от количества фаз в протоколе КТ.

Средний возраст пациентов был 63,5±8,4. Минимальное и максимальное значение возраста были 23 года и 86 лет. Соотношение мужчин и женщин – 1,2:1. Антропометрические данные пациентов представлены в таблице 4.

Статистическая обработка данных проводилась с помощью программы Statistica 10.0. Статическая значимость различия средней ЭД в изучаемых группах больных определялась с помощью U-критерия Манна – Уитни при $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение

В таблице 5 представлены значения эффективной дозы в обеих группах больных.

Из таблицы 5 видно, что средняя эффективная доза во 2-й группе по сравнению с 1-й снизилась на 63% ($p < 0,05$).

В таблице 6 представлено сравнение информативности 1–2 ФП с 3–4 ФП КТ ОБП в виде возможности визуализации различных типов наблюдаемых патологических изменений.

Антропометрические данные пациентов

Таблица 4

[Table 4]

Anthropometric data of patients in the studied groups

Антропометрический параметр [Anthropometric data]	Выборка из 514 пациентов [Sample of 514 patients]	
	Мужчины [Men]	Женщины [Women]
Средний рост±стандартное отклонение, см [Average height±standard deviation, cm]	171,3±3,2	163,5±4,3
Средний вес±стандартное отклонение, кг [Average weight±standard deviation, kg]	72,1±6,0	69,7±7,3

Эффективные дозы у пациентов изучаемых групп

Таблица 5

[Table 5]

Effective doses in patients of the two studied groups

Область исследования [Region of examination]	Эффективная доза в группе 1, мЗв [Effective dose in the Group 1, mSv]			Эффективная доза в группе 2, мЗв [Effective dose in the Group 2, mSv]		
	Среднее значение [Average mean]	Медиана [Mediana]	Межквартильный интервал (25– 75%) [Interquartile interval]	Среднее значение [Average mean]	Медиана [Mediana]	Межквартильный интервал (25–75%) [Interquartile interval]
Компьютерная томография органов брюшной полости и забрюшинного пространства [Computed tomography of the abdomen and retroperitoneum]	30	31	25–35	11	10	7–12

Динамика различных типов патологических изменений в группе 2, выявленных при КТ ОБП в группе 1

Таблица 6

[Table 6]

Dynamics of various types of pathological changes in group 2, identified by CT of abdomen in group 1

Тип патологических изменений по данным КТ в группе 1 [The type of pathological changes according to CT in group 1]	Динамика наблюдаемых изменений в группе 2 по сравнению с группой 1, количество случаев, абс. [The dynamics of the observed changes in group 2 compared with group 1, the number of cases abs.]		
	Отрицательная динамика [Negative dynamics]	Без динамики [Without dynamic]	Положительная динамика [Positive dynamics]
Очаговое поражение паренхиматозных органов [Focal lesion in parenchymal organs]	56	345	65
Инфильтративное поражение полого органа [Infiltrative lesion of a hollow organ]	12	32	14
Лимфаденопатия [Lymphadenopathy]	58	145	38
Очаговые изменения в клетчаточных пространствах (канцероматоз, метастазы в большом сальнике, внеорганные образования) [Focal changes in cellular tissue spaces (carcinomatosis, mts in the greater omentum, extraorgan formations)]	24	12	18
Данных за распространение основного заболевания не получено [Data for the spread of the oncologic disease is not received]	15	136	Не применяется [Not applied]
Итого, абс (%) [Total, abs (%)]	167 (17,2)	670 (69)	135 (13,8)

У части больных представленные типы патологических изменений сочетались: например, метастазы в печени и абдоминальная лимфаденопатия, инфильтративное поражение желудка и канцероматоз, поэтому суммарное количество выделенных типов больше, чем количество обследованных пациентов.

Все типы патологических изменений, выявленные при КТ ОБП в группе 1, были визуализированы в группе 2, что позволило провести их сравнение и определить динамику патологического процесса. Кроме того, у 15 больных с колоректальным раком в группе 2 после проведения 1 ФП КТ при сравнении с предыдущим 3 ФП КТ было выявлено появление в печени метастазов. В дальнейшем при контрольных КТ-исследованиях у наблюдаемых пациентов, а также с учетом клинико-лабораторных данных не было зарегистрировано случаев гипо- или гипердиагностики опухолевых изменений. Таким образом, информативность исследования при использовании 1–2 ФП по сравнению с 3–4 ФП не снижалась.

Необходимость оптимизации протокола КТ ОБП с внутривенным контрастированием для снижения лучевой нагрузки за счет сокращения фаз сканирования отмечается в отечественных работах, но заметно больше статей, посвященных этой проблеме, мы нашли в зарубежной литературе [6, 12, 13]. Costa et al. в своей работе продемонстрировали, что нативная фаза является неинформативной при стадировании и рестадировании онкологических заболеваний [14]. Также имеются сообщения об изменении параметров исследования в нативной фазе сканирования для снижения лучевой нагрузки, при этом, несмотря на ухудшение качества изображений, плотностные значения органов и структур значимо не меняются и могут быть использованы в дальнейшем при анализе постконтрастных изображений [15]. Jing-Feng Zhang et al. добились уменьшения лучевой нагрузки на 61,3% при наблюдении за пациентами со злокачественными новообразованиями желудочно-кишечного тракта при проведении только одного сканирования в венозной фазе по сравнению с трехфазным протоколом [16]. Более того, разработаны протоколы КТ ОБП для различных клинических сценариев, в которых учтена информативность каждой фазы сканирования, что в итоге позволяет модифицировать мультифазные исследования для снижения дозы облучения [17]. И.А. Буровик для обследования онкологических пациентов предложил выполнять одно сканирование с последовательным введением двух порций контрастного препарата для получения смешанной артерио-венозной фазы [8]. В англоязычной литературе предлагается похожий вариант протокола под названием split-bolus, который используется в педиатрии и при травме [18, 19]. При позитронно-эмиссионной томографии, совмещенной с КТ (ПЭТ/КТ), проводится как минимум одно низкодозовое сканирование в нативной фазе для коррекции аттенуации [20]. Решение о проведении диагностического КТ с внутривенным контрастированием принимается в зависимости от клинической ситуации, при этом информацию о наличии очагов гиперметаболизма соответствующего РФП предоставляет уже совмещение ПЭТ с низкодозовой КТ [20]. Диагностическое КТ с внутривенным контрастированием проводится с задержкой дыхания и не синхронизируется с ПЭТ, в этих случаях врач-радиолог рассчитывает

получить дополнительную анатомическую информацию (локализация, размеры, характер накопления контрастного препарата), как и при рутинном КТ-исследовании. В литературе имеются данные о возможности сокращения фаз КТ-исследования при ПЭТ/КТ до одной – двух, что бывает достаточно для решения диагностической задачи [21, 22]. В методических рекомендациях Департамента здравоохранения г. Москвы не указывается, сколько фаз сканирования после внутривенного введения контрастного препарата необходимо выполнить, это остается на усмотрение врача, но в приведенных примерах отмечается возможность выполнения одного сканирования в равновесной артерио-венозной фазе [23]. Г.Е. Труфанов и др. при злокачественных новообразованиях органов грудной клетки и брюшной полости предлагают проводить 3 КТ-сканирования в нативной, артериальной и венозной фазах. При этом нативная фаза необходима только для проведения коррекции аттенуации ПЭТ-исследования, а основной объем диагностической информации предоставляют артериальная и венозная фазы [24]. То есть отсроченная фаза сканирования не проводится рутинно при диагностическом КТ, совмещенном с ПЭТ. Таким образом, и в ПЭТ/КТ-диагностике, согласно приведенным данным, прослеживается тенденция к ограничению количества сканирований при диагностическом КТ, что, очевидно, приводит и к снижению лучевой нагрузки.

В целом, в зарубежной литературе возможность и даже необходимость сокращать протокол мультифазного КТ-исследования в зависимости от клинической ситуации, данных предыдущих исследований, васкуляризации опухолевой ткани освещается намного шире, чем в отечественной. Эта рекомендация указана в руководствах ведущих радиологических сообществ, и в целом при принятии решения о необходимом количестве фаз КТ-сканирования пропагандируется принцип «As low as reasonably achievable» (ALARA) [17, 25].

В литературе не дискутируется очевидность того, что достоверно опухолевые очаги в паренхиматозных органах и инфильтрацию стенок полых органов можно визуализировать только после введения контрастного препарата в артериальную и/или венозную фазу контрастирования. Нативная фаза не позволяет провести дифференциальный диагноз между очаговыми изменениями в печени. Кроме того, во многих случаях они вовсе не будут определяться. Отсроченная фаза при первом КТ-исследовании в случае стадирования онкологического процесса позволяет провести дифференциальный диагноз между доброкачественным образованием (киста, гемангиома) и метастазом в печени, но при повторном КТ-исследовании в ее проведении уже нет необходимости [7, 12, 14].

На рисунках 1–4 представлены случаи выбора одного или двухфазного протокола исследования в зависимости от степени васкуляризации опухолевой ткани.

Следует отметить, что, несмотря на то, что средний возраст больных в нашем исследовании был более 60 лет, тем не менее, нельзя недооценивать значение радиационного канцерогенеза у онкологических больных в целом. Так, среди обследованных пациентов 7% (n=36) составляли мужчины и женщины в возрасте от 23 до 35 лет. Среди них – больные с раком молочной железы, семиномой, гемобластомом, в частности лимфомой Ходжкина, которая имеет хороший прогноз при своев-



Рис. 1. Компьютерная томограмма пациента с раком поджелудочной железы, венозная фаза сканирования. Гиповаскулярная опухоль в теле поджелудочной железы (стрелка), метастазы в печени (обведены)
[Fig. 1. Computed tomography of a patient with pancreatic cancer, venous phase. Hypovascular tumor in the body of the pancreas (arrow), liver metastases (circled)]

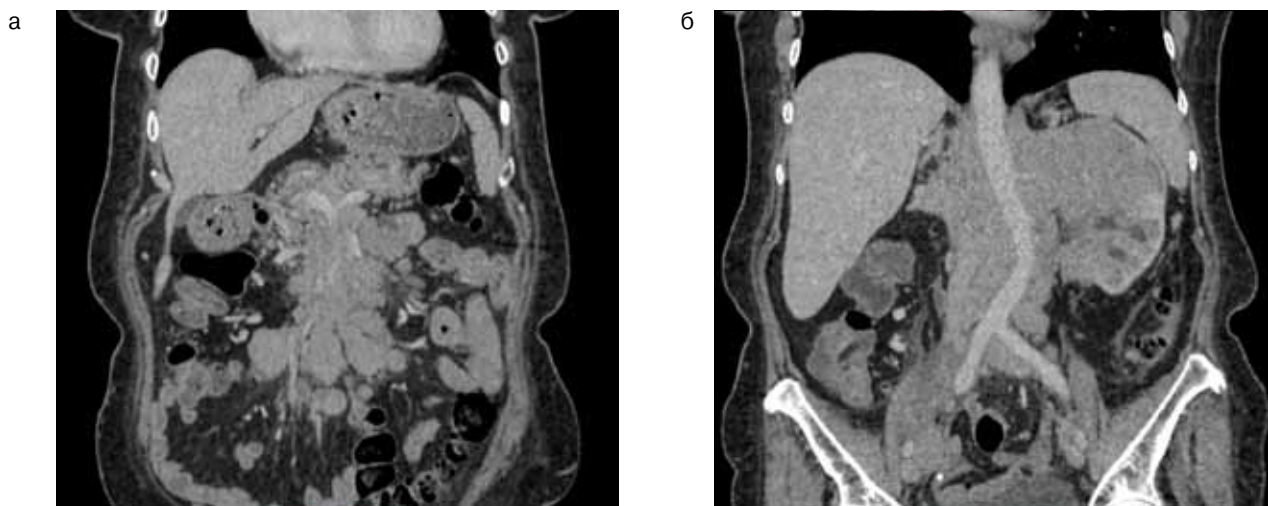


Рис. 2. Компьютерные томограммы пациента с В-клеточной лимфомой, венозная фаза сканирования брюшной полости:
 а – гиповаскулярные опухолевые массы в брыжейке тонкой кишки; б – опухолевые массы в забрюшинном пространстве с вовлечением левой почки
[Fig. 2. Computed tomography of a patient with B-cell lymphoma, venous phase: a – hypovascular soft-tissue masses in the mesentery; b – hypovascular soft-tissue masses in the retroperitoneal space with involvement of the left kidney]

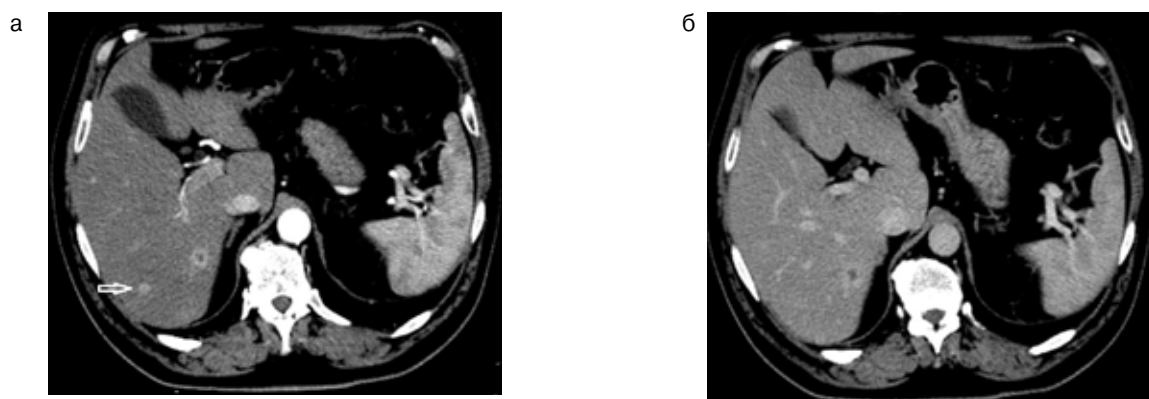


Рис. 3. Компьютерные томограммы пациента с раком почки, аксиальные проекции: а – артериальная фаза, в правой доле печени дифференцируются два гиперваскулярных метастаза; б – венозная фаза, тот же срез, визуализируется только один метастаз
[Fig. 3. Computed tomography of a patient with kidney cancer, axial projections: a – arterial phase, clearly seen two hypervascular metastases in the right liver lobe; b – venous phase, the same level, only one metastasis is visualized]

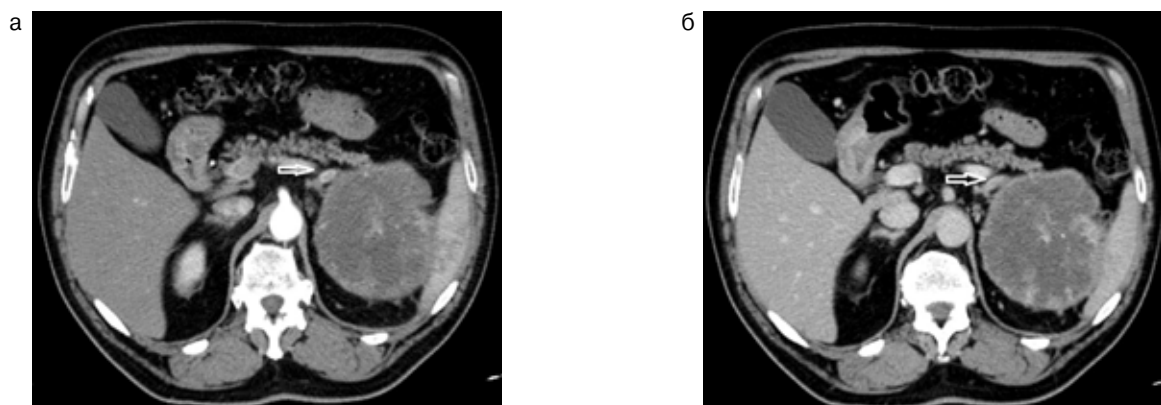


Рис. 4. Компьютерные томограммы пациента с раком почки, аксиальные проекции: а – артериальная фаза сканирования, хорошо виден гиперваскулярный метастаз в левом надпочечнике; б – венозная фаза, тот же срез, метастаз в левом надпочечнике не дифференцируется

[Fig. 4. Computed tomography of a patient with kidney cancer, axial projections: a – arterial phase, hypervascular metastasis is clearly seen in the left adrenal gland; b – venous phase, the same level, metastasis does not differentiate]

ременной и эффективной терапии. Поэтому снижение ЭД при контрольных КТ-исследованиях у этих пациентов является актуальной задачей. По этой же причине крайне важно оптимизировать протокол КТ ОБП, применяющийся в детской онкологии. Между тем в отечественной литературе нам удалось найти всего одну статью, посвященную возможности сокращения фаз сканирования при КТ-исследовании у детей, больных лимфомой Ходжкина [10].

Системное использование одно- или двухфазного протокола при КТ ОБП с внутривенным контрастированием требует определенной организации работы в отделении. В частности, врач-рентгенолог перед исследованием должен выяснить нозологическую форму злокачественного процесса, ознакомиться с данными предыдущего КТ-исследования и после этого дать указание рентгенолаборанту, сколько фаз сканирования необходимо выполнить пациенту.

Таким образом, результаты нашего исследования продемонстрировали возможность сокращения протокола мультифазного КТ ОБП с внутривенным контрастированием у пациентов с онкологическими заболеваниями при динамическом наблюдении без снижения информативности метода, что позволяет существенно снизить ЭД. Этот принцип следует более активно внедрять в рутинную работу КТ-отделений в нашей стране. Возможно, по аналогии с зарубежной практикой, его нужно указать в отечественных руководствах по лучевой диагностике, а также более широко освещать на мероприятиях в рамках непрерывного профессионального образования.

Заключение

Рутинное использование одно- и двухфазного протокола КТ органов брюшной полости и забрюшинного пространства в ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна при повторном обследовании пациентов с онкологическими заболеваниями в зависимости от нозологической формы злокачественного процесса позволило уменьшить лучевую нагрузку по сравнению с мультифазным протоколом на 63% без снижения информативности диагностической процедуры.

Литература

1. Rehani, M.M. Patient radiation exposure and dose tracking: a perspective. *J Med Imaging (Bellingham)*, 2017, Vol. 4, №3, pp. 031206. doi: 10.1117/1.JMI.4.3.031206.
2. Маткевич, Е.И. Сравнительная оценка лучевой нагрузки на пациентов при компьютерной томографии различных анатомических зон: автореф. дисс. ... канд. мед. наук / Маткевич Е.И. – Москва, 2017. – 24 с.
3. Барковский, А.Н. Дозы облучения населения Российской Федерации в 2017 году: информ. сборник / А.Н. Барковский [и др.]. – СПб, 2018.
4. Балонов, М.И. Современные уровни медицинского облучения в России / М.И. Балонов [и др.] // *Радиационная гигиена*. – 2015. – Т. 8, № 3. – С. 67–79.
5. Маткевич, Е.И. Сравнительный анализ доз облучения пациентов при компьютерной томографии в федеральном лечебном учреждении / Е.И. Маткевич, В.Е. Сеницын, Е.А. Мершина // *Вестник рентгенологии и радиологии*. – 2016. – Т. 97, №1. – С. 33-39. doi: 10.20862/0042-4676-2016-97-1-33-40.
6. Маткевич, Е.И. Сравнение доз облучения пациентов при проведении однофазной и многофазной компьютерной томографии в многопрофильном лечебном учреждении / Е.И. Маткевич, В.Е. Сеницын, А.Н. Башков // *Медицинская радиология и радиационная безопасность*. – 2016. – Т. 61, № 6. – С. 50-56.
7. Прокоп, М. Спиральная и многослойная компьютерная томография: учебное пособие. В 2 т. / М. Прокоп, М. Галански; пер. с англ.; под ред. А.В. Зубарева, Ш.Ш. Шотемора. – М.: МЕДпресс-информ, 2006. – Т. 1. – 416 с.
8. Буровик, И.А. Оптимизация спиральной компьютерной томографии при оценке эффективности консервативного лечения онкологических больных: автореф. дисс. ... канд. мед. наук / Буровик И.А. – Санкт-Петербург, 2017. – 23 с.
9. Гомболевский, В.А. Низкодозовый протокол компьютерной томографии при лимфоме Ходжкина / В.А. Гомболевский, П.М. Котляров, П.В. Даценко, Н.В. Нуднов // *Вестник РНЦПР*. – 2013. – №13: <https://cyberleninka.ru/article/n/nizkodozovyy-protokol-kompyuternoy-tomografii-pri-limfome-hodzhkina> (дата обращения: 21.06.2019).
10. Хасанова, К.А. Снижение дозовой нагрузки при проведении компьютерной томографии у детей / К.А. Хасанова, И.Е. Тюрин, С.А. Рыжков, Е.В. Кижаяев // *Медицинская радиология и радиационная безопасность*. – 2019. – Т. 64, № 1. – С. 38-44.

11. Морозов, С.П. Мультиспиральная компьютерная томография в многопрофильном стационаре / С.П. Морозов, И.Ю. Насникова, С.К. Терновой. – Москва, 2009. – 249 с.
12. K.M. Guite, J.L. Hinshaw, F.N. Ranallo, M.J. Lindstrom, Lee FT Jr.J. Ionizing radiation in abdominal CT: unindicated multiphase scans are an important source of medically unnecessary exposure. *Am. Coll. Radiol.*, 2011, Vol.8, №11, pp. 756-61. doi: 10.1016/j.jacr.2011.05.011.
13. Luigi Camera, Immacolata Liccardo, Federica Romano, Raffaele Liuzzi [et al.] Diagnostic efficacy of single-pass abdominal multidetector-row CT: prospective evaluation of a low dose protocol. *Br. J. Radiol.*, 2017, Vol.90(1070): 20160612. Published online 2017 Jan 10. doi: 10.1259/bjr.20160612.
14. Costa Danilo, Manuel Cerqueira [et al.] When the non-contrast-enhanced phase is unnecessary in abdominal computed tomography scans? A retrospective analysis of 244 cases. *Radiol. Bras.*, 2013, 46(4):197-202. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-39842013000400004>.
15. Waszczuk Ł., Guziński M., Garcarek J., Sasiadek M. Triple-phase abdomen and pelvis computed tomography: standard unenhanced phase can be replaced with reduced-dose scan. *Polish Journal of Radiology*, 2018, №83, pp. 166-170. doi: 10.5114/pjr.2018.75682.
16. Jing-Feng Zhang, Guo Chuan-Gen, Liao Jin-Sheng, Wang Qi-Dong [et al.] Abdominal CT protocol's influence on postoperative follow-up of lesions detection associated with gastrointestinal tumors. *TCR*, 2017, Vol.6, №6, pp. 1123-1128. doi: 10.1007/s10140-018-1591-1.
17. Pamela Johnson [et al.] New ACR Choosing Wisely Recommendations: Judicious Use of Multiphase Abdominal CT Protocols. *Journal of the American College of Radiology*, 2018, Vol.16, №1, pp. 56-60. doi: 10.1016/j.jacr.2018.07.026.
18. Jeavons C., Hacking C., Beenen L.F., Gunn M.L. A review of split-bolus single-pass CT in the assessment of trauma patients. *Emerg. Radiol.*, 2018, Vol.25, №4, pp. 367-374. doi: 10.1007/s10140-018-1591-1.
19. Kim Y.H., Kim M.J., Shin H.J., Yoon H., Lee M.J. Simplified split-bolus intravenous contrast injection technique for pediatric abdominal CT. *Clin. Imaging*, 2017, №46, pp. 28-32. doi: 10.1016/j.clinimag.2017.06.002.
20. Klaus Tatsch, Wolfgang Eschner, Fred J. Verzijlbergen, Sally F. Barrington [et al.] FDG PET/CT: EANM procedure guidelines for tumour imaging: version 2.0. *Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging*, 2015, №42, pp. 328–354. DOI 10.1007/s00259-014-2961.
21. Roland Bares, Claus D. Claussen and Anna C. Pfannenberger Klaus Brechtel, Magnus Klein, Monika Vogel, Marc Mueller, Philip Aschoff, Thomas Beyer, Susanna M. Eschmann. PET/CT: Technical Aspects of Single-Phase Versus Multiphase CT Imaging Optimized Contrast-Enhanced CT Protocols for Diagnostic Whole-Body 18F-FDG. *J. Nucl. Med.*, 2006, №47, pp. 470-476.
22. Silvia Morbelli, Raffaella Conzi, Claudio Campus, Giuseppe Cittadini [et al.] Contrast-enhanced [18F] fluorodeoxyglucose-positron emission tomography/computed tomography in clinical oncology: tumor-, site-, and question-based comparison with standard positron emission tomography/computed tomography. *Cancer Imaging*, 2014, 14:10. <https://doi.org/10.1186/1470-7330-14-10>.
23. Смолярчук, Я.М. / Рекомендации по проведению и описанию исследований ПЭТ/КТ с 18F-дезоксиглюкозой, проводимых за счет средств МГФОМС в рамках территориальной программы города Москвы. Методические рекомендации №39а // Я.М. Смолярчук, О.А. Агафонова, С.П. Морозов. – Москва, 2017. – 26 с.
24. Труфанов, Г.Е. Совмещенная позитронно-эмиссионная и компьютерная томография в характеристике рецидивов злокачественных новообразований органов грудной клетки и брюшной полости / Г.Е. Труфанов, И.В. Бойков, В.В. Рязанов, В.В. Ипатов // *Трансляционная медицина*. – 2016. – Т.3. – №5. – С. 95-102. <https://doi.org/10.18705/2311-4495-2016-3-5-95-102>.
25. Официальный сайт национальной онкологической сети (NCCN): https://www.nccn.org/professionals/physician_gls/recently_updated.aspx / (дата обращения 21.06.2019г.).

Поступила: 07.05.2019 г.

Башков Андрей Николаевич – заведующий отделением лучевой и радиоизотопной диагностики, научный сотрудник лаборатории №12, Государственный научный центр – Федеральный медико-биофизический центр имени А.И. Бурназяна, Федеральное медико-биологическое агентство России. **Адрес для переписки:** 123098, Россия, Москва, ул. Маршала Новикова, д.23; E-mail: abashkov@yandex.ru

Шейх Жанна Владимировна – доктор медицинских наук, профессор кафедры рентгенологии и радиологии, заведующая отделением КТ, Городская клиническая больница имени С.П. Боткина Департамента здравоохранения г. Москвы, Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва, Россия

Восканян Сергей Эдуардович – доктор медицинских наук, профессор, заместитель главного врача по хирургии – руководитель центра хирургии и трансплантологии, заведующий кафедрой хирургии с курсами онкологии, эндоскопии и хирургической патологии института постдипломного профессионального образования, Государственный научный центр Федеральный медико-биофизический центр имени А.И. Бурназяна, Федеральное медико-биологическое агентство России, Москва, Россия

Дунаев Алексей Петрович – кандидат медицинских наук, врач отделения лучевой диагностики, Московская городская клиническая онкологическая больница № 62 Департамента здравоохранения г. Москвы, поселок Истра, Московская область, Россия

Попов Максим Васильевич – врач-хирург отделения рентгенохирургических методов диагностики и лечения, Государственный научный центр – Федеральный медико-биофизический центр имени А.И. Бурназяна, Федеральное медико-биологическое агентство России, Москва, Россия

Удалов Юрий Дмитриевич – кандидат медицинских наук, доцент, заместитель генерального директора по медицинской части, Государственный научный центр – Федеральный медико-биофизический центр имени А.И. Бурназяна, Федеральное медико-биологическое агентство России, Москва, Россия

Самойлов Александр Сергеевич – доктор медицинских наук, доцент, генеральный директор, Государственный научный центр – Федеральный медико-биофизический центр имени А.И. Бурназяна, Федерального медико-биологического агентства России, Москва, Россия

Для цитирования: Башков А.Н., Шейх Ж.В., Восканян С.Э., Дунаев А.П., Попов М.В., Удалов Ю.Д., Самойлов А.С. Возможность снижения лучевой нагрузки на пациентов за счет оптимизации протокола компьютерной томографии органов брюшной полости и забрюшинного пространства в зависимости от нозологии злокачественного процесса // Радиационная гигиена. – 2019. – Т. 12, № 3. – С. 6-15. DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-3-6-15

Prospects for the reduction of the patient doses based on the optimization of the CT abdomen protocols for the different types of malignancies

Andrey N. Bashkov¹, Zhanna V. Sheykh^{2,3}, Sergey E. Voskanyan¹, Aleksey P. Dunaev⁴, Maksim V. Popov¹, Yuriy D. Udalov¹, Aleksandr S. Samoylov¹

¹State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency of Russia, Moscow, Russia

²City clinical hospital named after S.P. Botkin of the Department of health of Moscow, Moscow, Russia

³Russian medical Academy of continuing professional education of the Ministry of health of the Russian Federation, Moscow, Russia

⁴City clinical hospital №62 of the Department of health of Moscow, Village Istra, Moscow region, Russia

Reducing radiation exposure in computed tomography is a relevant medical task due to the growing number of studies and the lack of generally accepted approaches to their conduct in the radiological community. One way to reduce the effective dose in contrast-enhanced computed tomography of the abdomen is to optimize the protocol of examination, which can include four scans: in the native, arterial, venous and delayed phases. However while providing repeated studies in patients with oncological diseases, it is possible to confine one or two phases, which will allow the radiologist to visualize observed pathological changes and to evaluate the response to the treatment, as well as detect the recurrence in case of the monitoring of the patients. In the present study, two groups were formed on the basis of a sample of 514 patients. In group 1 (control), CTB was performed according to a three- or four-phase protocol. In group 2, the same patients with an interval from 1 to 5.5 months were performed with computed tomography -OBP according to a single or two-phase protocol depending on the degree of vascularization of the tumor tissue and the clinical situation. At the same time, a decrease in the average effective dose in patients in group 2 compared with group 1 was demonstrated by 63% ($p < 0.05$). In all cases, the various pathological changes that characterize the oncological process and were diagnosed with a three- or four-phase protocol were visualized with a single- or two-phase protocol. Thus, the informative value of computed tomography examination did not decrease.

Key words: computed tomography, radiation exposure, effective dose, optimization of the protocol, reduction of the multiphase protocol, single-phase protocol, dual-phase protocol.

References

1. Rehani, M.M. Patient radiation exposure and dose tracking: a perspective. J Med Imaging (Bellingham), 2017, Vol. 4, №3, pp. 031206. doi: 10.1117/1.JMI.4.3.031206.
2. Matkevich E.I. Comparative assessment of the patient doses from the computed tomography of various anatomical regions. Abstract of the MD thesis [dissertation]. Moscow; 2017, 24 p. (In Russian)
3. Barkovsky A.N. [et al.]. Radiation doses of the population of the Russian Federation in 2017: inform. collection. St-Petersburg, 2018. (In Russian)
4. Balonov M.I. [et al.]. Modern levels of medical exposure in Russia. Radiation hygiene, 2015, Vol. 8, № 3, pp. 67–79. (In Russian)
5. Matkevich E.I., Sinitsyn V.E., Merzhina E.A. Comparative analysis of the patient doses from computed tomography in a federal healthcare facility. Vestnik rentgenologii i radiologii = Bulletin of rentgenology and radiology, 2016, Vol. 97, №1, pp. 33-39. doi: 10.20862/0042-4676-2016-97-1-33-40. (In Russian)
6. Matkevich E.I., Sinitsyn V.E., Bashkov A.N. Comparison of the patient doses from single phase and multiphase computed tomography in a general practice hospital. Meditsinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost = Medical Radiology and Radiation Safety, 2016, Vol. 61, № 6, pp. 50-56. (In Russian)
7. Prokop M., Galanski M. Spiral and multilayer computed tomography: a training manual. In 2 Vol. Translation from English; ed. by Zubareva A.V., Shothemor Sh. Sh. Moscow; MED press-inform, 2006, Vol. 1, 416 p. (In Russian)
8. Burovik I.A. Optimization of the helical computed tomography for the assessment of the effectiveness of the conserva-

Andrey N. Bashkov

State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center

Address for correspondence: ul. Marshala Novikova, 23, Moscow, 123098, Russia; E-mail: abashkov@yandex.ru

- tive treatment of the oncological patients. MD thesis [dissertation]. St-Petersburg; 2017, 23 p. (In Russian)
9. Gombolevsky V.A., Kotlyarov P.M., Datsenko P.V., Nudnov N.V. Low-dose protocol of computed tomography in Hodgkin's lymphoma. *Vestnik RNCRR*, 2013, №13. – Available on: <https://cyberleninka.ru/article/n/nizkodozovyy-protokol-kompyuternoy-tomografii-pri-limfome-hodzhkina> (Accessed: 21.06.2019). (In Russian)
10. Khasanova K.A., Tyurin I.E., Ryzhkov S.A., Kizhaev E.V. Reduction of dose load during computed tomography in children. *Meditsinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost = Medical Radiology and Radiation Safety*, 2019, Vol. 64, № 1, pp. 38-44. (In Russian)
11. Morozov S.P., Nasnikova I.Yu., Ternovoy S.K. Multispiral computed tomography in a multidisciplinary hospital. Moscow, 2009. – 249 p. (In Russian)
12. K.M. Guite, J.L. Hinshaw, F.N. Ranallo, M.J. Lindstrom, Lee FT Jr.J. Ionizing radiation in abdominal CT: unindicated multiphase scans are an important source of medically unnecessary exposure. *Am. Coll. Radiol.*, 2011, Vol.8, №11, pp. 756-61. doi: 10.1016/j.jacr.2011.05.011.
13. Luigi Camera, Immacolata Liccardo, Federica Romano, Raffaele Liuzzi [et al.] Diagnostic efficacy of single-pass abdominal multidetector-row CT: prospective evaluation of a low dose protocol. *Br. J. Radiol.*, 2017, Vol.90(1070): 20160612. Published online 2017 Jan 10. doi: 10.1259/bjr.20160612.
14. Costa Danilo, Manuel Cerqueira [et al.] When the non-contrast-enhanced phase is unnecessary in abdominal computed tomography scans? A retrospective analysis of 244 cases. *Radiol. Bras.*, 2013, 46(4):197-202. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-39842013000400004>.
15. Waszczuk Ł., Guziński M., Garcarek J., Sasiadek M. Triple-phase abdomen and pelvis computed tomography: standard unenhanced phase can be replaced with reduced-dose scan. *Polish Journal of Radiology*, 2018, №83, pp. 166-170. doi:10.5114/pjr.2018.75682.
16. Jing-Feng Zhang, Guo Chuan-Gen, Liao Jin-Sheng, Wang Qi-Dong [et al.] Abdominal CT protocol's influence on post-operative follow-up of lesions detection associated with gastrointestinal tumors. *TCR*, 2017, Vol.6, №6, pp. 1123-1128. doi: 10.1007/s10140-018-1591-1.
17. Pamela Johnson [et al.] New ACR Choosing Wisely Recommendations: Judicious Use of Multiphase Abdominal CT Protocols. *Journal of the American College of Radiology*, 2018, Vol.16, №1, pp. 56-60. doi: 10.1016/j.jacr.2018.07.026.
18. Jeavons C., Hacking C., Beenen L.F., Gunn M.L. A review of split-bolus single-pass CT in the assessment of trauma patients. *Emerg. Radiol.*, 2018, Vol.25, №4, pp. 367-374. doi: 10.1007/s10140-018-1591-1.
19. Kim Y.H., Kim M.J., Shin H.J., Yoon H., Lee M.J. Simplified split-bolus intravenous contrast injection technique for pediatric abdominal CT. *Clin. Imaging*, 2017, №46, pp. 28-32. doi: 10.1016/j.clinimag.2017.06.002.
20. Klaus Tatsch, Wolfgang Eschner, Fred J. Verzijlbergen, Sally F. Barrington [et al.] FDG PET/CT: EANM procedure guidelines for tumour imaging: version 2.0. *Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging*, 2015, №42, pp. 328–354. DOI 10.1007/s00259-014-2961.
21. Roland Bares, Claus D. Claussen and Anna C. Pfannenberger Klaus Brechtel, Magnus Klein, Monika Vogel, Marc Mueller, Philip Aschoff, Thomas Beyer, Susanna M. Eschmann. PET/CT: Technical Aspects of Single-Phase Versus Multiphase CT Imaging Optimized Contrast-Enhanced CT Protocols for Diagnostic Whole-Body 18F-FDG. *J. Nucl. Med.*, 2006, №47, pp. 470-476.
22. Silvia Morbelli, Raffaella Conzi, Claudio Campus, Giuseppe Cittadini [et al.] Contrast-enhanced [18F] fluoro-deoxyglucose-positron emission tomography/computed tomography in clinical oncology: tumor-, site-, and question-based comparison with standard positron emission tomography/computed tomography. *Cancer Imaging*, 2014, 14:10. <https://doi.org/10.1186/1470-7330-14-10>.
23. Smolyarchuk Ya.M., Agafonov O.A., Morozov S.P. Recommendations for the conduct and description of PET/CT studies with 18F-deoxyglucose carried out at the expense of mgfoms within the territorial program of the city of Moscow. Guidelines No. 39A. Moscow, 2017. (In Russian)
24. Trufanov G.E., Boikov I.V., Ryazanov V.V., Ipatov V.V. Combined positron emission and computed tomography in the characteristics of relapses of malignant neoplasms of the chest and abdomen. *Translyatsionnaya meditsina = Translational medicine*, 2016, Vol.3, №5, pp. 95-102. <https://doi.org/10.18705/2311-4495-2016-3-5-95-102>. (In Russian)
25. The official site of the National Comprehensive Cancer Network (NCCN). – Available on: https://www.nccn.org/professionals/physician_gls/recently_updated.aspx (Accessed: 21.06.2019) (In Russian)

Received: May 07, 2019

For correspondence: Andrey N. Bashkov – Head of Radiology department; researcher of the Laboratory №12, State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency of Russia (ul. Marshala Novikova, 23, Moscow, 123098, Russia; E-mail: abashkov@yandex.ru)

Zhanna V. Sheykh – Doct. of med. sci., professor, Head of CT department, City clinical hospital named after S.P. Botkin of the Department of health of Moscow; Russian medical Academy of continuing professional education of the Ministry of health of the Russian Federation, Moscow, Russia

Sergey E. Voskanyan – Doct. of med. sci., Deputy Chief for Surgery, Head of the Center for Surgery and Transplantology, Head of the Department of Surgery with courses of Oncology, Endoscopy of the Institute of the Institute of postgraduate professional education, State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency of Russia, Moscow, Russia

Aleksey P. Dunaev – Phd. in Med.Sci., radiologist of the radiology department, City clinical hospital №62 of the Department of health of Moscow, Village Istra, Moscow region, Russia

Maksim V. Popov – surgeon of the department of the endovascular treatment, State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency of Russia, Moscow, Russia

Yuriy D. Udalov – Phd. in Med.Sci., Deputy Chief of general director, State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency of Russia, Moscow, Russia

Aleksandr S. Samoylov – Doct. of med. Sci., general director, State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency of Russia, Moscow, Russia

For citation: Bashkov A.N., Sheykh Zh.V., Voskanyan S.E., Dunaev A.P., Popov M.V., Samoylov A.S., Udalov Yu.D. Prospects for the reduction of the patient doses based on the optimization of the CT abdomen protocols for the different types of malignancies. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene, 2019, Vol. 12, No. 3, pp. 6-15. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-3-6-15

Радиационно-гигиеническая оценка содержания и распределения ^{90}Sr и ^{137}Cs в ихтиофауне Обь-Иртышской речной системы

А.В. Трапезников, В.Н. Николкин, А.В. Коржавин, В.Н. Трапезникова

Институт экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук,
Екатеринбург, Россия

Целью настоящей работы является радиационно-гигиеническая оценка содержания ^{90}Sr и ^{137}Cs в рыбе Обь-Иртышской речной системы и изучение основных закономерностей накопления радионуклидов в ихтиофауне этих рек. Для выполнения данной задачи были использованы многолетние результаты радиозологических исследований рыбы из рек Теча, Иртыш и Обь за период 2004–2016 гг. Выполнена оценка рыбы как пищевого продукта по двум критериям: а) допустимые уровни удельной активности радионуклидов (СанПиН 2.3.2.1078-01); б) с использованием показателя соответствия B и неопределенности его определения ΔB (ГОСТ 32161-2013 и ГОСТ 32163-2013). Показано, что более высокое содержание радионуклидов наблюдается в ихтиофауне реки Теча (1379,1 Бк/кг по ^{90}Sr и 41,9 Бк/кг по ^{137}Cs). На реках Обь и Иртыш средние показатели удельной активности радионуклидов в рыбе были существенно ниже и слабо изменялись на протяжении обследованного участка: для ^{90}Sr в диапазоне 6,0–8,1 Бк/кг (среднее 6,8), для ^{137}Cs — 0,6–1,9 Бк/кг (среднее 1,3). Оценка на соответствие критериям радиационной безопасности с использованием показателя соответствия B и его неопределенности ΔB ($B+\Delta B$) подтвердила непригодность использования в пищевых целях по радиационному фактору всех исследованных видов рыб из р. Течи ($45-55 > 1$). Рыба из всех остальных исследованных участков Обь-Иртышской речной системы может быть использована в пищу без ограничений ($0,06-0,53 < 1$). Закономерности распределения ^{90}Sr и ^{137}Cs в ихтиофауне Обь-Иртышской речной системы на участке протяженностью 2400 км представлены в виде эмпирических регрессионных моделей. Модели описывают резкое снижение удельной активности радионуклидов в рыбе на участке рек Теча – Исеть на два порядка величин по ^{90}Sr (с 2000 до 20 Бк/кг) и на один порядок по ^{137}Cs (с 40 до 2 Бк/кг). С высокой степенью достоверности ($R^2 > 0,86$ для ^{90}Sr и $R^2 > 0,92$ для ^{137}Cs) показано наличие степенных зависимостей между содержанием радионуклидов в ихтиофауне и их содержанием в воде, с адекватностью, подтвержденной критериями Фишера. Это может быть использовано для предварительной оценки уровня содержания радионуклидов в рыбе на основе результатов измерений среднегодовых концентраций этих радионуклидов в воде.

Ключевые слова: Обь-Иртышская речная система, ихтиофауна, техногенные радионуклиды, санитарно-гигиеническая оценка, эмпирические модели распределения.

Введение

Широкомасштабное радиоактивное загрязнение небольшой реки Теча, расположенной в Челябинской и Курганской областях и относящейся к бассейну Обь-Иртышской речной системы, произошло в 1949–1951 гг. в ходе прямой утилизации в открытую речную систему жидких технологических отходов и аварийных сбросов с завода по переработке оружейного плутония [1–3]. Вода, донные отложения, пойма и биота реки в течение короткого времени оказались загрязнены техногенными радионуклидами до экстремально высоких уровней. Согласно [2], в Течу поступило 76 млн м³ отходов с суммарной активностью 100 ПБк. Часть этой активности была аккумулирована в пойме и донных отложениях Течи, другая часть транзитом прошла дальше, поступив в гидрографическую систему рек Исеть – Тобол – Иртыш – Обь [4].

В бассейне реки Обь и ее притока реки Томь в Томской области находится территория, загрязненная после радиационной аварии на Сибирском химкомбинате в 1993 г. На территории комбината расположены хранилища жидких и твердых радиоактивных отходов. В открытых бассейнах находится 4,6 ЭБк, а в подземных пластах на глубине до 300 м закачано 15 ЭБк жидких радиоактивных отходов [5, 6].

Вся территория Северного Урала, включая обширную заболоченную пойму Нижней Оби, находилась в зоне воздействия атмосферных выпадений продуктов деления урана и плутония, образовавшихся при испытаниях в 1950–1960-х гг. ядерного оружия на полигоне Новая Земля [6, 7].

Степень влияния отдельных факторов на общую картину радиоактивного загрязнения Обь-Иртышской реч-

Трапезников Александр Викторович

Институт экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук

Адрес для переписки: 620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, д. 202; E-mail: vera_zar@mail.ru

ной системы остается недостаточно изученной и требует постоянного мониторинга. Установлено, что годовой сток ^{90}Sr и ^{137}Cs с водой, поступающей в речную систему на территории Ханты-Мансийского автономного округа со стороны Оби, более чем в два раза превышает годовой сток, поступающий со стороны Иртыша [8, 9].

В результате указанных радиационных инцидентов сложилась ситуация, когда в пределах одной сообщаемой пресноводной экосистемы существуют участки с ограниченной возможностью использования речных биоресурсов по радиационному фактору и регионы с развитым промысловым рыболовством. Для населения севера, проживающего на берегах Обь-Иртышской речной системы, местная рыба является одним из традиционных продуктов питания, входящих в ежедневный рацион, поэтому мониторинг содержания в рыбе техногенных радионуклидов является крайне актуальной задачей. С другой стороны, являясь элементом биоты, ихтиофауна тесно связана с процессами биоаккумуляции радионуклидов из водной среды, вследствие чего при проведении экологических исследований водных экосистем рыб часто рассматривают в качестве биоиндикатора техногенных загрязнений [8, 10–16]. Наиболее важными из радиоактивных загрязнителей являются долгоживущие радионуклиды, включая ^{90}Sr и ^{137}Cs , содержание которых в рыбе как пищевом продукте регламентируется санитарными нормами практически всех развитых государств.

Приведенные в настоящей работе результаты исследований охватывают период с 2004 по 2016 г. За это время было накоплено большое количество материала о содержании долгоживущих радионуклидов в рыбе Обь-Иртышского речного бассейна, частично представленного в работах [11, 17, 18]. В данной работе впервые предпринята попытка систематизировать разрозненные материалы о распределении долгоживущих радионуклидов ^{90}Sr и ^{137}Cs в ихтиофауне Обь-Иртышской системы на протяжении более 2400 км от р. Теча до Нижней Оби, полученные авторами в различные периоды времени.

Цель исследования – радиационно-гигиеническая оценка рыбы Обь-Иртышской речной системы как пищевого продукта на соответствие критериям радиационной безопасности. Изучение основных закономерностей распределения и накопления техногенных радионуклидов в ихтиофауне Обь-Иртышской речной системы.

Задачи исследования:

- обработка многолетних результатов исследований содержания ^{90}Sr и ^{137}Cs в рыбе Обь-Иртышской системы;
- оценка уровней загрязнения рыбы техногенными радионуклидами согласно действующим санитарно-гигиеническим нормативам;
- построение эмпирических моделей, характеризующих распределение ^{90}Sr и ^{137}Cs в ихтиофауне Обь-Иртышской системы на протяжении 2400 км;
- выявление основных закономерностей накопления радионуклидов ихтиофауной в зависимости от их содержания в воде.

Материалы и методы

Отбор проб ихтиофауны из Обь-Иртышского речного бассейна осуществлялся в ходе выполнения много-

летних радиоэкологических экспедиций на реках Теча в Челябинской области, Иртыш и Обь в границах Ханты-Мансийского автономного округа (ХМАО) в период 2004–2012 гг. и реке Обь в районе г. Лабитнанги (2014–2016 гг.). Кроме рыбы, на указанных реках параллельно осуществлялся отбор проб воды и других компонентов водных экосистем. Точки отбора проб на реках показаны на рисунке 1. Створ Нижневартовск на реке Обь не относится непосредственно к части речной системы, подверженной воздействию радиоактивных загрязнений со стороны реки Теча, однако он отражает влияние Сибирского химкомбината, расположенного на площади водосбора реки Томь, являющейся притоком реки Обь.



Рис. 1. Схема отбора проб ихтиофауны на участках речной системы Теча – Исеть – Тобол – Иртыш – Обь
[Fig. 1.] The scheme of ichthyofauna sampling in the sites of the Techa – Iset – Tobol – Irtysh – Ob river system]

Для исследований отбирались как хищные, так и мирные виды рыб (всеядные, бентофаги). Дифференциация рыб по типу питания на хищных и мирных, принятая нами при обработке данных, относительно условна, поскольку известно, что многие виды рыб всеядны (*Squalius cephalus*, *Cyprinus carpio*, *Tinca tinca*, *Carassius carassius*), мирные рыбы часто становятся хищниками при недостатке привычной пищи, а бентофаги легко переключаются на питание зоопланктоном.

Материал для исследований представлен следующими видами ихтиофауны:

- пыжьян – *Coregonus lavaretus pidschian* (Gmelin, 1789), возраст от 3 до 4 лет, питание: бентос;
- щокур (чир) – *Coregonus nasus Pallas*, возраст от 3 до 4 лет, питание: бентос, донные насекомые и моллюски.
- пелядь (сырок) – *Coregonus peled* (Gmelin, 1789), возраст от 2 до 3 лет, питание: зоопланктон;
- карась – *Carassius carassius* L., возраст от 2 до 3 лет, питание: бентос;
- пескарь – *Gobio gobio cynocephalus*; питание: бентос;
- лещ – *Abramis brama* L., питание: бентос;
- плотва – *Rutilus rutilus* L., питание: бентос;
- линь – *Tinca tinca* L., возраст от 5 до 7 лет, питание: всеядный, в зависимости от возраста (высшая растительность, моллюски, насекомые, мальки рыб);

– голавль – *Squalius cephalus*, питание: всеядный хищник, в рацион которого входят насекомые, черви, моллюски, раки, лягушки, икра и молодь рыб, упавшие в воду семена растений, плоды и ягоды;

– язь – *Leuciscus idus* L., возраст от 5 до 7 лет, питание очень разнообразно в зависимости от возраста (высшая растительность, моллюски, насекомые, мальки рыб);

– щука – *Esox lucius* L., возраст от 3 до 6 лет, питание: рыбацый хищник, в рацион могут входить лягушки, мелкие млекопитающие и водоплавающая птица;

– налим – *Lota lota* L., возраст от 3 до 5 лет, всеядный хищник;

– окунь – *Perca fluviatilis* L., возраст от 2 до 3 лет, всеядный хищник;

– ерш – *Acerina cernua* L., возраст от 2 до 3 лет, всеядный хищник;

– судак – *Stizostedion lucioperca*, возраст от 3 до 5 лет, рыбацый хищник.

Консервацию отобранных проб проводили двумя способами: в экспедициях более раннего периода рыбу после удаления внутренностей засаливали (каждая проба в отдельной емкости), на более поздних этапах исследований – замораживали в морозильной камере до состояния глубокой заморозки. Для исследований отбирали, как правило, по три повторности каждого вида, масса каждой составляла около 3 кг.

В лабораторных условиях предварительную подготовку проб рыбы проводили согласно рекомендациям (ГОСТ 32161-2013¹, ГОСТ 32163-2013²) с использованием методов термического концентрирования. Для этого тушки рыб размораживали, подсушивали и подвергали озоленю в муфельной печи при температуре 450°C до состояния однородного мелкодисперсного порошка. Взвешивание исследуемых образцов осуществляли при комнатной температуре до и после озоления. Содержание радионуклидов, определенное для озоленных проб, во всех случаях пересчитывали на сырую массу исследуемой рыбы.

Пробы воды отбирали в емкости из полимерного материала в двух повторностях по 120 л в каждой, подкисляли небольшим количеством азотной кислоты для предотвращения сорбции радионуклидов на стенках сосудов. В лабораторных условиях воду фильтровали от взвесей, выпаривали до сухого остатка, который далее прокалывали в муфельной печи при $t = 450^\circ\text{C}$ в течение 8 ч и окончательно растирали пестиком до мелкодисперсного порошка.

Содержание ^{137}Cs в подготовленных пробах измеряли по гамма-линии 661,2 кэВ на низкофоновом полупроводниковом гамма-спектрометре DSPTC-jr («Ortec», США) с коаксиальной детекторной системой на основе высокочистого германия (HPGe) с эффективностью 40%, при нижнем пределе обнаружения 0,15 Бк/кг и ошибке измерения не более 10%.

Определение ^{90}Sr проводили после радиохимической обработки с выделением осадка оксалата стронция, его высушивания, прокалывания, взвешивания и измерения.

Методика определения ^{90}Sr основана на выщелачивании радионуклидов 6-нормальной соляной кислотой, выделении ^{90}Sr в форме оксалатов, радиометрического измерения полученных препаратов. Измерение β -активности проводилось на малофоновой установке УМФ-2000 (НПО «Доза», Россия) с нижним пределом обнаружения 0,5 Бк/кг, статистической ошибкой измерения не более 10%.

Достоверность результатов достигалась параллельным исследованием всех образцов отобранного материала в 2–3 повторностях, а также представительно большой массой проб, набираемой из отдельных экземпляров одного вида рыб. Статистическая обработка результатов заключалась в определении среднеарифметического значения и стандартного отклонения среднего арифметического. Оценка значимости различий в статистических выборках проводилась с применением t -теста Стьюдента. Проверка адекватности полученных эмпирических моделей проводилась с использованием F -критерия Фишера $F = R^2 / [1 - R^2] \times [f_2 / f_1]$, где R – коэффициент корреляции, а f_1 и f_2 – число степеней свободы объясненной и необъясненной дисперсий.

Результаты и обсуждение

Результаты определения содержания ^{90}Sr и ^{137}Cs в исследованных видах рыбы в реках Теча, Иртыш и Обь представлены на рисунках 2 и 3 в виде диаграмм, построенных с использованием средних величин удельной активности радионуклидов за весь период исследований для каждого вида рыб.

В таблице 1 представлены средние показатели за весь исследуемый период 2004–2016 гг., которые дополнительно сгруппированы в экспериментальные выборки по хищным и мирным видам рыб.

Средние показатели удельных активностей радионуклидов (см. табл. 1) в ихтиофауне Течи, рассчитанные по 11 видам рыб, оказались самыми высокими (1400 Бк/кг по ^{90}Sr и 42 Бк/кг по ^{137}Cs). Для хищных рыб содержание радионуклидов в среднем составило 2020 Бк/кг по ^{90}Sr и 98 Бк/кг по ^{137}Cs , для мирных рыб – 1140 и 25 Бк/кг соответственно. На других участках Оби и Иртыша средние показатели удельной активности радионуклидов в рыбе были существенно ниже и находились в пределах от 6,0 до 8,1 Бк/кг по ^{90}Sr (среднее 6,8 Бк/кг) и от 0,6 до 1,9 Бк/кг по ^{137}Cs (среднее 1,3 Бк/кг).

Проверка статистической значимости различий содержания радионуклидов в сгруппированных выборках с использованием t -критерия Стьюдента показала, что для всей, кроме Течи, Обь-Иртышской речной системы различия между хищниками и мирными рыбами статистически незначимы ($t < t_{\text{крит}}$ при уровне значимости 0,05). Следовательно, данными различиями можно пренебречь, а удельные активности радионуклидов в рассматриваемых группах рыб можно представить средними величинами для всего экспериментального массива.

Анализ полученных данных показывает, что способность к накоплению радионуклидов в организме хищных рыб по сравнению с мирными наиболее явно наблюдает-

¹ ГОСТ 32161-2013. Продукты пищевые. Метод определения содержания цезия Cs-137. М.: Стандартинформ. 2013. 6 с. [Foodstuff. Method of determination of content of Cs-137. Moscow, Standartinform, 2013, 6 p. (in Russ.)]

² ГОСТ 32163-2013. Продукты пищевые. Метод определения содержания стронция Sr-90. М.: Стандартинформ, 2013. 12 с. [Foodstuff. Method of determination of content of Sr-90. Moscow, Standartinform, 2013, 12 p. (in Russ.)]

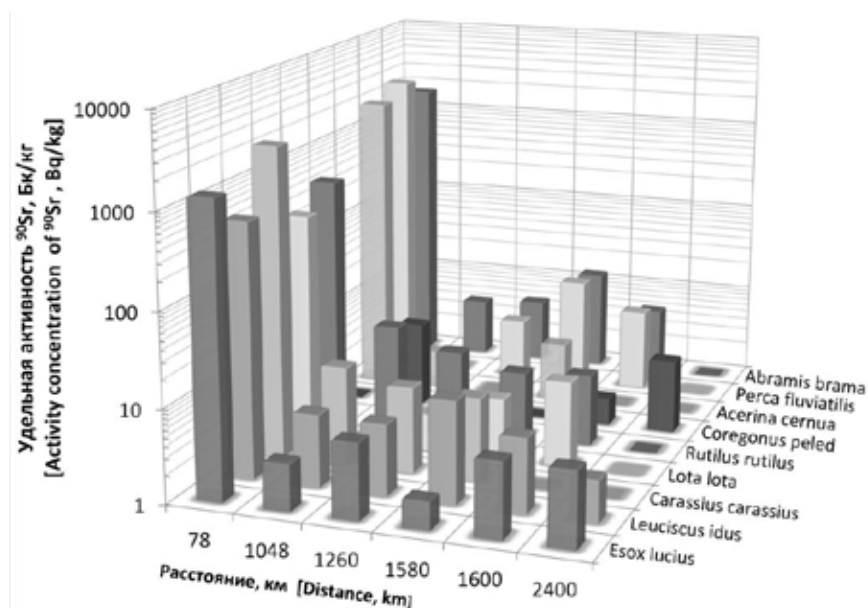


Рис. 2. Содержание ^{90}Sr в иктофауне Обь-Иртышской речной системы
[Fig. 2. ^{90}Sr content in the ichthyofauna of the Ob-Irtysh river system]

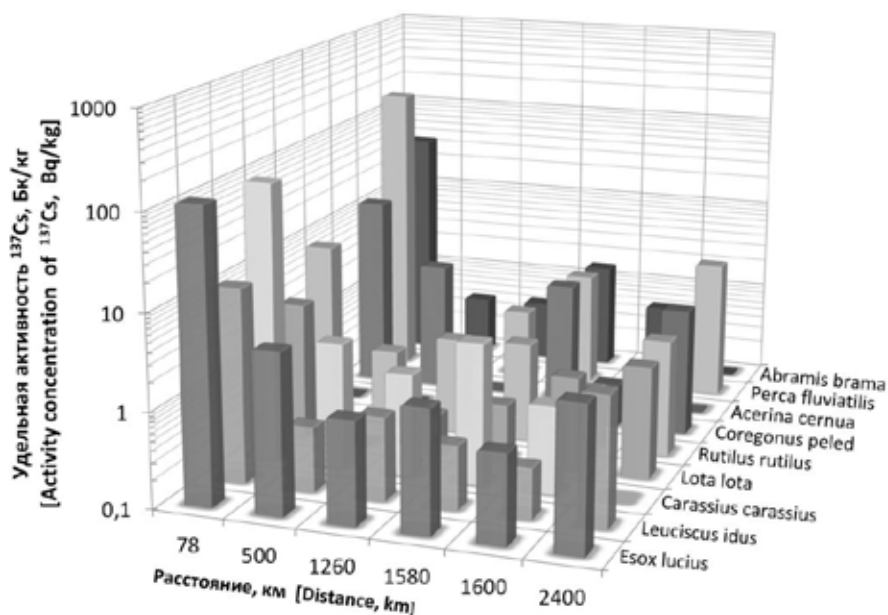


Рис. 3. Содержание ^{137}Cs в иктофауне Обь-Иртышской речной системы
[Fig. 3. ^{137}Cs content in the ichthyofauna of the Ob-Irtysh river system]

Таблица 1

Средние значения величин удельной активности радионуклидов в иктофауне рек Теча, Иртыш и Обь, Бк/кг сыр. веса

[Table 1

Average values of radionuclides specific activity in the ichthyofauna of the Techa, Irtysh and Ob rivers, Bq/kg of wet weight]

Река / створ [River/site]	^{90}Sr			^{137}Cs		
	Среднее по всем видам [Average by all fish]	Среднее по хищным видам [Average by predatory fish]	Среднее по мирным видам [Average by peaceful fish]	Среднее по всем видам [Average by all fish]	Среднее по хищным видам [Average by predatory fish]	Среднее по мирным видам [Average by peaceful fish]
Теча / Муслумово [Techa r./ Muslyumovo]	1400±880 n=11	2020±510 n=3	1100±710 n=8	42±36 n=11	98±54 n=3	25±17 n=8

Река / створ [River/site]	⁹⁰ Sr			¹³⁷ Cs		
	Среднее по всем видам [Average by all fish]	Среднее по хищным видам [Average by predatory fish]	Среднее по мирным видам [Average by peaceful fish]	Среднее по всем видам [Average by all fish]	Среднее по хищным видам [Average by predatory fish]	Среднее по мирным видам [Average by peaceful fish]
Иртыш / Демьянское [Irtysh r./ Demyanskoye]	6,0±2,0 n=7	5,2±2,3 n=3	6,7±1,4 n=4	0,9±0,3 n=7	1,0±0,2 n=3	0,9±0,3 n=4
Иртыш / Ханты-Мансийск [Irtysh r./ Khanty-Mansiysk]	8,1±4,5 n=9	7,3±5,9 n=4	9,5±3,1 n=5	1,5±0,8 n=9	1,8±0,2 n=4	1,3±1,0 n=5
Обь / Ханты-Мансийск [Ob r./ Khanty-Mansiysk]	6,0±1,9 n=7	7,6±0,9 n=2	4,9±1,7 n=5	0,6±0,3 n=7	0,8±0,02 n=2	0,4±0,1 n=5
Обь / Лабитнанги [Ob r./ Labytnangi]	6,9±4,7 n=9	5,6±3,5 n=3	7,5±5,1 n=6	1,9±0,8 n=9	3,2±0,2 n=3	1,5±0,5 n=6
Обь / Нижневартовск [Ob r./ Nizhnevartovsk]	7,0±3,7 n=7	2,9±0,3 n=2	8,6±3,2 n=5	1,9±1,6 n=7	3,7±1,2 n=2	0,9±0,7 n=5
Среднее по всем створам (кроме Течи) [The average of all sites (except the Techa r.)]	6,8±0,8	6,1±1,9	7,2±1,2	1,3±0,5	1,7±1,1	1,4±1,0

n – число видов в статистической выборке рыб в створе
[n – number of fish species in the statistical set].

ся в водных системах с более высокой концентрацией радионуклидов. Оценка значимости различий по *t*-критерию Стьюдента при уровне значимости 0,05 дала следующие величины: для ¹³⁷Cs (хищн./мирн.) $t_{\text{эксп}} = 2,32 > t_{\text{крит}} = 2,26$ (n-1 = 10), для ⁹⁰Sr (хищн./мирн.) $t_{\text{эксп}} = 2,29 > t_{\text{крит}} = 2,26$ (n-1 = 10), что позволяет сделать заключение о достоверном различии в накоплении радионуклидов в мирных и хищных видах рыбы реки Течи.

В соответствии с действующими в Российской Федерации гигиеническими требованиями СанПиН 2.3.2.1078-01³ допустимые уровни удельной активности ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs в рыбе, используемой для пищевых целей, ограничиваются значениями в 100 и 130 Бк/кг соответственно. Приведенные выше данные свидетельствуют, что для всех видов рыб, обитающих в Тече, как хищных, так и мирных, указанные нормативные уровни значительно превышены и эта рыба непригодна для потребления в пищу. В ихтиофауне, ареал обитания которой находится за пределами Течи, превышение нормативных показателей по радионуклидам не зарегистрировано.

Определение соответствия исследованных видов рыб как пищевых продуктов критериям радиационной безопасности с использованием показателя соответствия *B* и неопределенности его определения ΔB проведено согласно требованиям ГОСТ 32161-2013 и ГОСТ 32163-

2013. Значения указанных параметров рассчитывались по следующим формулам:

$$B = \left(\frac{Q}{H} \right)_{Sr-90} + \left(\frac{Q}{H} \right)_{Cs-137} \quad (1)$$

$$\Delta B = \sqrt{\left(\frac{\Delta Q}{H} \right)_{Sr-90}^2 + \left(\frac{\Delta Q}{H} \right)_{Cs-137}^2} \quad (2)$$

где *Q* – измеренное значение удельной активности радионуклида в пробе;

H – допустимый уровень удельной активности радионуклида в испытуемом продукте (для ⁹⁰Sr – 100 Бк/кг, для ¹³⁷Cs – 130 Бк/кг);

ΔQ – абсолютная расширенная (при коэффициенте охвата *k*=2) неопределенность измерения удельной активности.

Рыба в качестве пищевого продукта признается соответствующей критерию радиационной безопасности, если $(B + \Delta B) \leq 1$. Результаты определения показателя соответствия критерию радиационной безопасности наиболее распространенных видов рыб приведены в таблице 2.

Из данных таблицы 2 следует, что показатели соответствия критерию радиационной безопасности $(B + \Delta B)$ превышают единичное значение только для ихтиофауны реки

³ Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов // Санитарно-эпидемиологические правила и нормы СанПиН 2.3.2.1078–01. М., 2001. С. 13–35. [Hygienic requirements of safety and nutritional value of food. Sanitary and epidemiological rules and regulations SanPiN 2.3.2.1078 – 01. Moscow, 2001, pp. 13-35. (in Russ.)]

Таблица 2

Определение показателя соответствия ($B+\Delta B$) критерию радиационной безопасности некоторых промысловых видов рыб [Table 2]

Determination of the indicator of compliance ($B+\Delta B$) to the radiation safety criterion for some commercial fish species]

Река/створ	Вид рыбы	Q_{Cs-137} Бк/кг	Q_{Sr-90} Бк/кг	ΔQ_{Cs-137}	ΔQ_{Sr-90}	B	ΔB	$B+\Delta B$
River/site	[Fish species]	[Bq/kg]	[Bq/kg]					
Иртыш / Ханты-Мансийск [Irtysh Riv. / Khanty-Mansiysk]	Язь [Ide]	0,5	12,4	0,3	11,8	0,13	0,24	0,37 < 1
	Лещ [Bream]	1,4	12,7	0,5	10,6	0,14	0,21	0,35 < 1
	Налим [Burbot]	0,4	4,6	0,1	2,5	0,05	0,05	0,10 < 1
	Плотва [Roach]	1,1	5,3	1,34	2,5	0,06	0,05	0,11 < 1
	Карась [Crucian]	3,1	7,8	2,4	4,8	0,1	0,1	0,20 < 1
	Щука [Pike]	1,9	2	1,2	0,9	0,03	0,03	0,06 < 1
	Окунь [Perch]	1,7	15,5	1,8	18,2	0,17	0,36	0,53 < 1
	Ерш [Ruff]	2,1	4,4	0,9	3	0,06	0,06	0,12 < 1
Иртыш / Демьянское [Irtysh Riv./ Demyanskoye]	Язь [Ide]	0,7	5,8	0,3	2,6	0,06	0,05	0,11 < 1
	Карась [Crucian]	1,2	8,4	0,5	3,8	0,09	0,08	0,17 < 1
	Лещ [Bream]	0,4	5	0,2	2,7	0,06	0,05	0,11 < 1
	Плотва [Roach]	1,1	7,6	0,5	1,7	0,08	0,03	0,11 < 1
	Щука [Pike]	1,2	6,5	0,2	2,2	0,07	0,04	0,11 < 1
	Окунь [Perch]	0,9	7,1	0,3	2,2	0,08	0,04	0,12 < 1
Обь / Нижневартовск [Ob Riv./ Nizhnevartovsk]	Язь [Ide]	0,5	6	0,1	2,1	0,07	0,04	0,11 < 1
	Карась [Crucian]	2,2	11,7	3,1	11,1	0,1	0,23	0,36 < 1
	Лещ [Bream]	0,4	4,4	0,3	2	0,05	0,04	0,09 < 1
Теча / Муслюмово [Techa Riv./ Muslyumovo]	Плотва [Roach]	0,7	12,6	0,3	8,1	0,1	0,16	0,29 < 1
	Карась [Crucian]	91,5	2300	23,9	1050	23,7	21,1	45 > 1
	Линь [Lin]	45,8	2370	12,6	1530	24,1	30,5	55 > 1
	Лещ [Bream]	25,8	2100	20,9	1530	21,2	30,7	52 > 1

Течи, свидетельствуя о пищевой непригодности рыбы этой реки. Для остальных видов рыб на всем протяжении Иртыша и Оби этот показатель оставался значительно ниже единицы, подтверждая безопасность использования в качестве пищевого продукта всех представленных в таблице 2 промысловых видов рыб.

На рисунке 4 приведены графики, характеризующие содержание ^{90}Sr и ^{137}Cs в ихтиофауне и воде Обь-Иртышской речной системы на протяжении 2400 км от реки Течи до г. Лабытнанги.

Уровни содержания радионуклидов в воде определены как средние значения в створах за весь рассматриваемый период наблюдений. Соответствующие эмпирические модели, полученные по среднестатистическим значениям удельных активностей радионуклидов в сгруппированных выборках хищных и мирных рыб, для объединенного экспериментального массива приведены в таблице 3.

Отметим, что дистанционные профили концентрационных изменений для рыбы и воды вдоль речной системы подобны. Представленные результаты характеризуют резкое снижение содержания радионуклидов в рыбе на

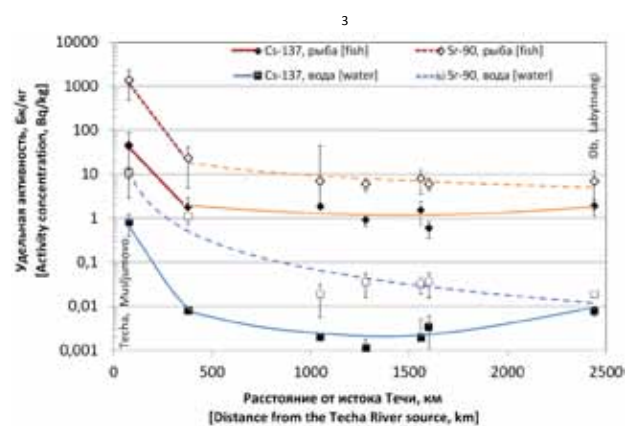


Рис. 4. Содержание радионуклидов в ихтиофауне и воде Обь-Иртышской речной системы в зависимости от расстояния от истока реки Течи

[Fig. 4. Radionuclides content in the ichthyofauna and water of the Ob-Irtysh river system versus the distance from the source of the Techa River]

Таблица 3

Эмпирические дистанционные модели, характеризующие содержание радионуклидов в рыбе

[Table 3]

Empirical remote models characterizing the radionuclides content in fish

Участок реки/рыба [River segment /fish]	^{90}Sr , Бк/кг сыр. вес. (Bq/kg w.w.)	^{137}Cs , Бк/кг сыр. вес. (Bq/kg w.w.)
<i>Участок Теча – Исеть (0–350 км):</i> [River segment Techa – Iset (0–350 km)]		
Все виды рыб [All the fish]	$y = 3990 e^{-0,014x}$	$y = 103 e^{-0,011x}$
Хищные рыбы [Predatory fish]	$y = 6460 e^{-0,015x}$	$y = 280 e^{-0,013x}$
Мирные рыбы [Peaceful fish]	$y = 3130 e^{-0,013x}$	$y = 49,3 e^{-0,009x}$
<i>Участок Исеть – Обь /Лабытнанги, (350–2400 км):</i> [River segment Iset – Ob/Labytnangi (350–2400 km)]		
Все виды рыб [All the fish]	$y = 1520 x^{-0,73}$, $R^2 = 0,81$ Среднее $6,8 \pm 0,8$	$y = 8,02 \times 10^{-7} x^2 - 0,0022 x + 2,5$; $R^2 = 0,65$ Среднее $1,4 \pm 0,5$

x – расстояние в километрах вдоль русла от истока Течи

[x – the distance (km) along the riverbed from the source of the Techa River]

участке рек Теча – Исеть: на два порядка по ^{90}Sr (с 2000 до 20 Бк/кг) и на один порядок по ^{137}Cs (с 40 до 2 Бк/кг). Содержание ^{90}Sr в иктиофауне рек Исеть, Тобол, Иртыш и Обь до створа г. Лабытнанги сопровождается небольшим снижением по течению рек, тогда как содержание ^{137}Cs в рыбе представлено параболой с размытым широким минимумом в центральной части речной системы, демонстрируя спад на начальном участке и умеренный подъем на участке Нижней Оби. Аналогичные концентрационные изменения характерны и для воды.

Характерно, что показатели для иктиофауны в створе Нижневартовска (представленном на диаграмме с условной координатой, равной расстоянию до Ханты-Мансийска), также удовлетворительно согласуются с приведенными моделями, характеризуя рыбу другой ветви речной системы, подверженной влиянию загрязнений с объектов Сибирского химкомбината.

При моделировании распределения радионуклидов в рыбе вся исследованная часть Обь-Иртышской речной системы с общей протяженностью 2400 км намеренно была разделена на два участка – начальный участок, включающий Течу и часть Исети, и весь остальной вплоть до Нижней Оби. Такой подход был продиктован стремлением более точного приближения аппроксимирующих эмпирических моделей к фактическим уровням загрязнения рыбы, прежде всего в диапазоне расстояний 300–500 км, соответствующих Исети. В противном случае модели, представленные одним общим уравнением для всей Обь-Иртышской речной системы, дают для иктиофауны Исети завышенные величины, что и было принято во внимание.

Кроме того, эмпирические модели для содержания ^{137}Cs в иктиофауне были также усложнены и представлены полиномами второй степени, отражая факт наблюдаемого увеличения содержания этого радионуклида в рыбе Нижней Оби. Это увеличение может быть связано с системным повышением содержания радионуклида в пойменных и донных отложениях вдоль русла Нижней

Оби, установленным в исследованиях 2014–2016 гг. [19]. Аккумуляция ^{137}Cs в донных и пойменных отложениях может сопровождаться дополнительным вовлечением радионуклида в пищевые цепи рыб и, как следствие, – увеличением накопления в ней. При этом в отношении ^{90}Sr такой закономерности не отмечено. Содержание ^{90}Sr в воде на участках Нижней и Средней Оби находится в состоянии динамического равновесия, при котором его годовые стоки на входе и выходе участка практически равны, а запасы в пойме распределены равномерно [19]. Это удовлетворительно согласуется с относительно равномерным содержанием ^{90}Sr в рыбе в широком диапазоне расстояний (см. рис. 4).

Известно, что водная компонента в пресноводных речных экосистемах в процессе переноса радиоактивных элементов выполняет транспортную функцию, а пойменные почвы и донные отложения являются основным депо радионуклидов [8]. Накопление радионуклидов в организме рыб подчиняется более сложным механизмам их движения по пищевым цепям. Самым нижним автотрофным звеном пищевых цепей являются низшие растения и водоросли, первично аккумулирующие радионуклиды из воды. На каждом последующем уровне пищевой цепи происходит дальнейшее концентрирование радионуклидов по степенной прогрессии и конечной точкой являются хищные рыбы (принцип биомагнификации). Вместе с тем, наличие зависимости уровней накопления радионуклидов в рыбе от их содержания в исходной компоненте – водной среде, является чрезвычайно важным для понимания процессов распределения радионуклидов в иктиофауне и предварительной оценки уровней их накопления в рыбе на различных участках речных экосистем.

На рисунке 5 представлены закономерности накопления радионуклидов в иктиофауне Обь-Иртышской речной системы в виде степенных зависимостей от содержания этих радионуклидов в воде.

Высокие значения коэффициента детерминации R^2 в представленных графиках подтверждают наличие сильной корреляции между содержанием радионуклидов в ихтиофауне и в воде. Проверка качества полученных кон-

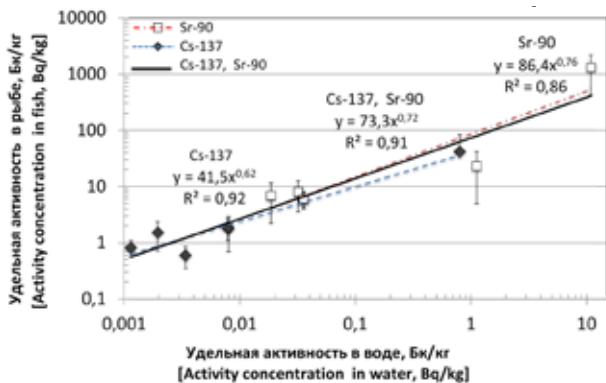


Рис. 5. Содержание радионуклидов в ихтиофауне Обь-Иртышской речной системы в зависимости от их содержания в воде

[Fig. 5. Radionuclides content in the ichthyofauna of the Ob-Irtysh river system versus the activity in water]

центрационных моделей с использованием F -критерия Фишера дает следующие результаты:

– для ^{90}Sr :

$$y = 86,38 x^{0,76}; R^2 = 0,86; n=5; F_{\text{экс}}(0,86; 1; 3) = 18,43 > F_{\text{крит}}(0,05, 1, 3) = 10,13 (3)$$

– для ^{137}Cs :

$$y = 41,49 x^{0,62}; R^2 = 0,92; n=5; F_{\text{экс}}(0,92; 1; 3) = 34,5 > F_{\text{крит}}(0,05, 1, 3) = 10,13 (4)$$

– для ^{90}Sr или ^{137}Cs :

$$y = 73,29 x^{0,72}; R^2 = 0,91; n=10; F_{\text{экс}}(0,91; 1; 8) = 80,9 > F_{\text{крит}}(0,05, 1, 8) = 5,32 (5)$$

Во всех рассмотренных случаях экспериментальные значения критерия Фишера $F_{\text{экс}}$ превышают его табличные критические значения $F_{\text{крит}}$ при уровне значимости 0,05, подтверждая адекватность аппроксимирующих концентрационных моделей.

Известно, что накопление радионуклидов в организме рыб определяется сложными биохимическими процессами, на которые оказывает влияние не только концентрация радионуклидов в воде, но и содержание в воде конкурирующих химических элементов, прежде всего ионов калия и кальция [12–16]. Представленные авторами эмпирические модели интегрируют в себе весь комплекс факторов, действующих на ихтиофауну Обь-Иртышской речной системы, включая концентрацию радионуклидов в воде, их движение по пищевым цепям, поступление и накопление в организмах рыб. В неявной форме (в виде параметрических коэффициентов регрессионных уравнений) модели учитывают также и другие действующие в экосистеме факторы, в том числе общий химический фон водной среды и наличие конкурирующих ионов.

Обобщенная эмпирическая модель для ^{90}Sr и ^{137}Cs (см. рис. 5), представленная регрессионным уравнением (5), позволяет выполнить оценку ожидаемой удельной активности в рыбе для каждого из рассматриваемых радионуклидов независимо друг от друга, используя их средние удельные активности в воде.

Предложенные выше модели (3–5) можно использовать для предварительной оценки среднего содержания радионуклидов в рыбе на основе результатов измерений среднегодовых концентраций этих радионуклидов в воде исследуемого участка речной системы, а также для решения обратной задачи – оценки объемной активности радионуклидов в воде по результатам измерений их активности в статистической выборке рыб, как биоиндикатора радиационного загрязнения. Эта задача может быть актуальна для мониторинга труднодоступных участков водоемов, где отбор и доставка проб воды сопряжены с объективными трудностями.

Заключение

В статье представлены систематизированные результаты радиоэкологических исследований ихтиофауны Обь-Иртышской речной системы, проведенные в период 2004–2016 гг. на реках Теча, Иртыш и Обь. Приведены среднестатистические величины удельных активностей ^{90}Sr и ^{137}Cs в рыбе исследованных участков. Дана оценка пригодности использования рыбы в качестве пищевого продукта с различных участков Обь-Иртышской речной системы, общей протяженностью более 2400 км.

Показано, что по 11 видам рыб максимальные уровни средней удельной активности ^{90}Sr и ^{137}Cs зарегистрированы в Тече: 1400 Бк/кг по ^{90}Sr и 42 Бк/кг по ^{137}Cs для общего массива данных, в том числе по хищным видам – 2020 и 98 Бк/кг и мирным – 1100 и 25 Бк/кг соответственно. На других участках Оби и Иртыша средние показатели удельной активности радионуклидов в рыбе были существенно ниже и охватывали меньший диапазон вариаций: по ^{90}Sr – от 6,0 до 8,1 Бк/кг (среднее 6,8) и по ^{137}Cs – от 0,6 до 1,9 Бк/кг (среднее 1,3).

Проверка на соответствие критериям радиационной безопасности с использованием показателя соответствия B и его неопределенности ΔB показала непригодность использования в пищевых целях по радиационному фактору всех исследованных видов рыб из реки Течи, где показатель $(B+\Delta B) \sim 45-55 > 1$ значительно превышал единичное значение. Рыба из всех остальных исследованных участков Обь-Иртышской речной системы соответствует критериям радиационной безопасности $(B+\Delta B) \sim (0,06 \div 0,53) < 1$ и может быть использована в пищу.

В работе представлены эмпирические модели, характеризующие распределение ^{90}Sr и ^{137}Cs в ихтиофауне вдоль Обь-Иртышской речной системы на протяжении 2400 км от реки Течи до г. Лабитнанги на реке Обь. Модели описывают резкое снижение удельной активности радионуклидов в рыбе на участке рек Теча – Исеть на два порядка по ^{90}Sr (с 2000 до 20 Бк/кг) и на один порядок по ^{137}Cs (с 40 до 2 Бк/кг). На участке Нижней Оби отмечено некоторое увеличение содержания в рыбе ^{137}Cs , что может быть связано с увеличением содержания данного радионуклида в пойменных почвах и донных отложениях этого участка реки.

С высокой степенью достоверности ($R^2 > 0,86$ для ^{90}Sr и $R^2 > 0,92$ для ^{137}Cs) показано наличие степенной зависимости между содержанием радионуклидов в ихтиофауне и их содержанием в воде. Эмпирические модели, кроме концентрации радионуклидов в воде, интегрируют в себе весь комплекс факторов, включая их движение по пищевым цепям, поступление и накопление в организме рыб, а

также косвенно отражают общий химический фон водной среды и другие факторы, влияющие на уровень накопления радионуклидов ихтиофауной.

Организация экспедиций и отбор проб ихтиофауны в районах Нижней Оби выполнены при финансовой поддержке проекта Комплексной программы УрО РАН № 18-9-4-9. Отбор проб материала из рек Теча, Исеть, Иртыш, пробоподготовка и измерение концентраций ^{137}Cs и ^{90}Sr в рыбе, а также интерпретация результатов выполнены в рамках государственного задания Института экологии растений и животных УрО РАН.

Литература

1. Заключение комиссии по оценке экологической ситуации в районе Производственного объединения «Маяк», организованной по решению Президиума АН СССР № 1140-501 // Радиобиология. – 1991. – Т. 31, вып. 1. – С. 436-452.
2. Заключение комиссии под председательством вице-президента АН СССР О.М. Нефедова, организованной распоряжением Президента СССР №РП-1283 от 3 сентября 1991 года, по экологической и радиозэкологической обстановке в Челябинской области. Москва, 1991. – 157 с.
3. Чуканов, В.Н. Генезис и концепция Государственной программы Российской Федерации по радиационной реабилитации Уральского региона / В.Н. Чуканов, П.В. Волобуев, Е.Г. Дрожко, Б.А. Коробицын, Г.Н. Романов, Л.Г. Стоббе, А.В. Трапезников, В.А. Ячменев, В.И. Киришкин. – Екатеринбург, 1993. – 66 с.
4. Trapeznikov A., Aarkrog A., Pozolotina V., Nielsen S.P., Polikarpov G., Molchanova I., Karavaeva E., Yushkov P., Trapeznikova V. Radioactive pollution of the Ob river system from Urals nuclear enterprise «Mayak». J. Environ. Radioactivity., 1994, № 25, pp. 85-98.
5. Булатов, В.И. Томская авария: мог ли быть сибирский Чернобыль? / В.И. Булатов, В.А. Чирков. – Новосибирск: ЦЭРИС, 1994. – 32 с.
6. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 1992 – 1996 гг. Ежегодник. / Под ред. К.П. Махонько. – Обнинск: НПО «Тайфун», 1996.
7. Ядерные взрывы в СССР. Вып. 1. Северный испытательный полигон. // Справочная информация. – М., 1992.
8. Трапезников, А.В. Радиозэкология пресноводных экосистем / А.В. Трапезников, В.Н. Трапезникова. – Екатеринбург: Изд-во УрГСХА, 2006. – 390 с.
9. Трапезников, А.В. Радиозэкологические исследования Обь-Иртышской речной системы на территории Ханты-Мансийского автономного округа / А.В. Трапезников, А.В. Коржавин, В.Н. Трапезникова, В.Н. Николкин, В.И. Мигунов // Вопросы радиационной безопасности. – 2009. – Спецвыпуск 1. – С. 73-85.
10. Трапезникова, В.Н. Накопление ^{137}Cs в промысловых рыбах водоема-охладителя Белоярской АЭС / В.Н. Трапезникова, А.В. Трапезников, Н.В. Куликов // Экология. – 1984, № 6. – С. 36-40.
11. Трапезников, А.В. ^{60}Co , ^{90}Sr , ^{137}Cs , $^{239,240}\text{Pu}$ в пресноводных экосистемах / А.В. Трапезников. – Екатеринбург: Изд-во «АкадемНаука», 2010. – 510 с.
12. Koulikov, A.O., Ryabov, I.N. Specific cesium activity in freshwater fish and size effect. Sci. Total Environ., 1992, 112, pp. 125-142.
13. Koulikov, A.O. Physiological and ecological factors influencing the radiocesium contamination of fish species from Kiev reservoir. Sci. Total Environ., 1996, 177, pp. 125-135.
14. Kryshev, A.I. ^{90}Sr in fish: a review of data and possible model approach. Sci. Total Environ., 2006, 370, pp. 182-189.
15. Wang, W.-X., Caihuan, K. Yu., [et al.] Modeling radiocesium bioaccumulation in a marine food chain. Mar. Ecol. Prog. Ser., 2000, 208, pp. 41-50.
16. Heldal, H.E., Foyn, L., Varskog, P. Bioaccumulation of ^{137}Cs in pelagic food webs in the Norwegian and Barents Seas. J. Environ. Radioact., 2003, 65, pp. 177-185.
17. Трапезников, А.В. Радиозэкологический мониторинг пресноводных экосистем / А.В. Трапезников, В.Н. Трапезникова, А.В. Коржавин, В.Н. Николкин. – Екатеринбург: Изд-во «АкадемНаука», 2014. – Том I. – 496 с.
18. Трапезников, А.В. Радиозэкологический мониторинг пресноводных экосистем / А.В. Трапезников, В.Н. Трапезникова, А.В. Коржавин, В.Н. Николкин. – Екатеринбург: Изд-во «АкадемНаука», 2016. – Том II. – 480 с.
19. Трапезников, А.В. Распределение радионуклидов в воде, донных отложениях и пойменных почвах нижней Оби в границах Ямало-Ненецкого автономного округа / А.В. Трапезников, В.Н. Николкин, А.В. Коржавин, В.Н. Трапезникова // Радиационная биология. Радиозэкология. – 2018. – том 58, № 4. – С. 406-414.

Поступила: 20.05.2019 г.

Трапезников Александр Викторович – доктор биологических наук, заведующий отделом континентальной радиозэкологии Института экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук. **Адрес для переписки:** 620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, д. 202; E-mail: vera_zar@mail.ru

Николкин Виктор Николаевич – научный сотрудник Института экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия

Коржавин Александр Васильевич – кандидат ветеринарных наук, старший научный сотрудник Института экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия

Трапезникова Вера Николаевна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия

Для цитирования: Трапезников А.В., Николкин В.Н., Коржавин А.В., Трапезникова В.Н. Радиационно-гигиеническая оценка содержания и распределения ^{90}Sr и ^{137}Cs в ихтиофауне Обь-Иртышской речной системы // Радиационная гигиена. – 2019. – Т. 12, № 3. – С. 16-26. DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-3-16-26

Radiation-hygienic assessment of the concentration and distribution of ^{90}Sr and ^{137}Cs in ichthyofauna of the Ob'-Irtysh river system

Aleksandr V. Trapeznikov, Viktor N. Nikolkin, Aleksandr V. Korzhavin, Vera N. Trapeznikova

Continental radioecology Department of the Institute of Plant and Animal Ecology, Russian Academy of Science, Ural branch, Yekaterinburg, Russia

The aim of the work is the radiation-hygienic assessment of ^{90}Sr and ^{137}Cs content in fish of the Ob-Irtysh river system and the study of the basic laws of the radionuclides accumulation in the ichthyofauna of these rivers. To perform this task, long-term results of radioecological studies of fish from the Techa, Irtysh and Ob rivers for the period 2004-2016 were used. Fish as a food product was evaluated according to two criteria: a) permissible levels of radionuclides specific activity (SanPiN 2.3.2. 1078-01); b) using the indicator of conformity B and uncertainty of its definition ΔB (GOST 32161-2013 and GOST 32163-2013). It is shown that a higher content of radionuclides is observed in the ichthyofauna of the Techa river (1379.1 Bq/kg for ^{90}Sr and 41.9 Bq/kg for ^{137}Cs). On the Ob and Irtysh rivers, the average specific activity of radionuclides in fish was significantly lower and slightly changed during the surveyed area: for ^{90}Sr in the range of $6.0 \div 8.1$ Bq/kg (mean 6.8), for ^{137}Cs — $0.6 \div 1.9$ Bq/kg (mean 1.3). Assessment for compliance with radiation safety criteria using the indicator of compliance and its uncertainty ($B \pm \Delta B$) confirmed the unsuitability of use for food purposes by the radiation factor of all studied fish species from the Techa river ($45 \div 55 > 1$). Fish from all other studied areas of the Ob-Irtysh river system can be used for food without restrictions ($0.06 \div 0.53 < 1$). The distribution of ^{90}Sr and ^{137}Cs in the ichthyofauna of the Ob-Irtysh river system part over a 2400 km is presented in the form of empirical regression models. The models describe a sharp decrease in the radionuclides specific activity in fish in the Techa and Iset rivers by two orders for ^{90}Sr (from 2000 to 20 Bq/kg), and by one order for ^{137}Cs (from 40 to 2 Bq/kg). With a high degree of reliability ($R^2 > 0.86$ for ^{90}Sr and $R^2 > 0.92$ for ^{137}Cs), the presence of power relationships between the content of radionuclides in the ichthyofauna and their content in water was shown, with adequacy confirmed by Fisher's F -criteria. This can be used for a preliminary assessment of the radionuclides level in fish based on the results of measurements of the average annual concentrations of these radionuclides in water.

Key words: Ob-Irtysh river system, ichthyofauna, technogenic radionuclides, sanitary-hygienic assessment, empirical models of distribution.

References

1. Conclusion of the Commission on environmental assessment in the area of Production Association "Mayak", organized by the Presidium of the USSR Academy of Sciences № 1140-501. Radiobiologiya = Radiobiology, 1991, Vol. 31, issue. 1, pp. 436-452. (In Russian)
2. Conclusion of the Commission chaired by Vice-President of the USSR Academy of Sciences O. M. Nefedov, organized by the order of the President of the USSR № RP-1283 September 3, 1991, on environmental and radio-ecological situation in the Chelyabinsk region. Moscow, 1991, 157 p. (In Russian)
3. Chukanov V.N., Volobuev P.V., Drozhko E.G., Korobitsyn A.B., Romanov G.N., Stobbe L.G., Trapeznikov A.V., Yachmenev V.A., Kiryushkin V.I. Genesis and concept of the State program of the Russian Federation on radiation rehabilitation of the Ural region. Yekaterinburg, 1993, 66 p. (In Russian)
4. Trapeznikov A., Aarkrog A., Pozolotina V., Nielsen S. P., Polikarpov G., Molchanova I., Karavaeva E., Yushkov P., Trapeznikova V. Radioactive pollution of the Ob river system from Urals nuclear enterprise "Mayak". J. Environ. Radioactivity, 1994, № 25, pp. 85-98.
5. Bulatov V.I., Chirkov V.A. Tomsk accident: could there be Siberian Chernobyl? Novosibirsk: CERES, 1994, 32 p. (In Russian)
6. The Radiation situation on the territory of Russia and neighboring States from 1992 to 1996 Yearbook. Ed. by K. P. Makhonko. Obninsk, "Typhoon", 1996. (In Russian)
7. Nuclear explosions in the USSR. Issue.1. Northern test site. Reference information. Moscow, 1992. (In Russian)
8. Trapeznikov A.V., Trapeznikova V.N. Radioecology of freshwater ecosystems. Yekaterinburg, Publishing house of the Ural state, 2006, 390 p. (In Russian)
9. Trapeznikov A.V., Korzhavin A.V., Trapeznikova V.N., Nikolkin V.N., Migunov V.I. Radioecological studies of the Ob-Irtysh river system on the territory of the Khanty-Mansiysky Autonomous Okrug. Voprosy radiatsionnoy bezopasnosti = Issues of radiation safety, 2009, Special issue 1, pp. 73-85. (In Russian)
10. Trapeznikova V.N., Trapeznikov A.V., Kulikov N.I. The accumulation of ^{137}Cs in the commercial fish of the Beloyarskaya NPP cooling reservoir. Ekologiya = Ecology, 1984, No. 6, pp. 36-40. (In Russian)
11. Trapeznikov A.V. ^{60}Co , ^{90}Sr , ^{137}Cs , $^{239,240}\text{Pu}$ in freshwater ecosystems. Yekaterinburg: Publishing house "Academia", 2010, 510 p. (In Russian)
12. Koulikov, A.O., Ryabov, I. N. Specific cesium activity in freshwater fish and size effect. Sci. Total Environ, 1992, 112, pp. 125-142.
13. Koulikov, A.O. Physiological and ecological factors influencing the radiocaesium contamination of fish species from Kiev reservoir. Sci. Total Environ, 1996, 177, pp. 125-135.
14. Kryshev, A.I. ^{90}Sr in fish: a review of data and possible model approach. Sci. Total Environ, 2006, 370, pp. 182-189.
15. Wang, W.-X., Caihuan, K. Yu [et al.] Modeling radiocaesium bioaccumulation in a marine food chain. Mar. Ecol. Prog. Ser., 2000, 208, pp. 41-50.
16. Heldal, H.E., Foyn, L., Varskog, P. Bioaccumulation of ^{137}Cs in pelagic food webs in the Norwegian and Barents Seas. J. Environ. Radioact., 2003, 65, pp. 177-185.

Aleksandr V. Trapeznikov

Continental radioecology Department of the Institute of Plant and Animal Ecology, Russian Academy of Science, Ural branch

Address for correspondence: 8 Marta Str., 202, Yekaterinburg, 620144; E-mail: vera_zar@mail.ru

17. Trapeznikov A.V., Trapeznikova V.N., Korzhavin A.V., Nikolkin V.N. Radio-ecological monitoring of freshwater ecosystems. Yekaterinburg: Publishing house "Academia", 2014, Vol. I, 496 p. (In Russian)
18. Trapeznikov A.V., Trapeznikova V.N., Korzhavin A.V., Nikolkin V.N. Radio-ecological monitoring of freshwater ecosystems. Yekaterinburg: Publishing house "Academia", 2016, Vol. II, 480 p. (In Russian)
19. Trapeznikov A.V., Nikolkin V.N., Korzhavin A.V., Trapeznikova V.N. Distribution of radionuclides in water, bottom sediments and floodplain soils of the lower Ob within the boundaries of the Yamalo-Nenetsky Autonomous Okrug. Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya = Radiation biology. Radioecology, 2018, Vol. 58, № 4, pp 406-414. (In Russian)

Received: May 20, 2019

For correspondence: Aleksandr V. Trapeznikov – Dr. Biol. Sci., Head of the Continental radioecology Department of the Institute of Plant and Animal Ecology, Russian Academy of Science, Ural branch (8 Marta Str., 202, Yekaterinburg, 620144; E-mail: vera_zar@mail.ru)

Viktor N. Nikolkin – scientific associate of the Continental radioecology Department of the Institute of Plant and Animal Ecology, Russian Academy of Science, Ural branch, Yekaterinburg, Russia

Aleksandr V. Korzhavin – PhD. Vet. Sci., Chief Science Officer of the Continental radioecology Department of the Institute of Plant and Animal Ecology, Russian Academy of Science, Ural branch, Yekaterinburg, Russia

Vera N. Trapeznikova – PhD. Biol. Sci., Chief Science Officer of the Continental radioecology Department of the Institute of Plant and Animal Ecology, Russian Academy of Science, Ural branch, Yekaterinburg, Russia

For citation: Trapeznikov A.V., Nikolkin V.N., Korzhavin A.V., Trapeznikova V.N. Radiation-hygienic assessment of the concentration and distribution of ⁹⁰Sr and ¹³⁷Cs in ichthyofauna of the Ob'-Irtysh river system. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene, 2019, Vol. 12, No. 3, pp. 16-26. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426x-2019-12-3-16-26

Вертикальное распределение ^{137}Cs в дерново-подзолистой песчаной почве на лугах и в лесах Брянской области в 2015–2016 гг.

В.П. Рамзаев, А.Н. Барковский, К.В. Варфоломеева

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

Вертикальное распределение природных и техногенных радионуклидов в почвенном профиле является определяющим параметром при вычислении мощности дозы гамма-излучения в воздухе над поверхностью земли и эффективной дозы внешнего облучения человека. Основной целью настоящей работы являлось определение вертикального распределения ^{137}Cs в дерново-подзолистой песчаной и супесчаной почве в лесах и на лугах в юго-западных районах Брянской области в отдаленном периоде после Чернобыльской аварии. В 2015–2016 гг. на 7 целинных луговых и 13 лесных участках были отобраны керны почвы до глубины 20 см. Керны разрезали на горизонтальные слои толщиной 2 см. Определение активности ^{137}Cs в пробах проводили при помощи полупроводникового гамма-спектрометра с размещением детектора и счетного образца внутри низкофоновой камеры. Удельная активность в пробах сухой почвы ($n = 200$) варьировала от 6,35 Бк/кг до 83300 Бк/кг при среднем значении 4550 Бк/кг. На лугах в трех случаях максимальная удельная активность была определена в самом верхнем слое. С увеличением глубины удельная активность снижалась и достигала минимума в наиболее глубоких слоях. Разница между поверхностным и самым глубоким слоем составила два-три порядка величины. На трех других лугах отмечалось сравнительно равномерное распределение ^{137}Cs в верхних 4–6 см с последующим уменьшением удельной активности с нарастанием глубины. На одном луговом участке пик активности ^{137}Cs был обнаружен на глубине 4–6 см. В лесу наиболее типичным (в 10 случаях) было наличие выраженного максимума удельной активности ^{137}Cs в самом верхнем слое. Экспериментально полученные значения общего запаса ^{137}Cs в верхних 20 см почвы на площадках находились в диапазоне от 42 до 1940 кБк/м². Значения запаса ^{137}Cs положительно и статистически значимо коррелировали с официально установленными уровнями поверхностного загрязнения цезием-137 территории близлежащих населенных пунктов. Вертикальная миграция радиоцезия в почве на обследованных участках, в основном, ограничивалась верхними 10 см, которые в среднем содержали 94% от общего запаса ^{137}Cs , находящегося в 20-сантиметровом слое почвы. Менее 1% общего запаса ^{137}Cs было обнаружено в самом нижнем отобранном слое почвы (18–20 см). Полученные распределения активности ^{137}Cs были использованы для вычисления мощности кермы в воздухе на высоте 1 м над почвой на обследованных площадках. Значения мощности воздушной кермы находились в диапазоне от 52 до 2240 нГр/ч (в среднем — 807 нГр/ч). Запас цезия-137, содержащийся в верхних 6 см почвы, определял около 95% и 90% мощности кермы в лесу и на лугу соответственно. Радиоцезий, мигрировавший в почву на глубину более 10–12 см, давал пренебрежимо малый вклад (менее 1%) в мощность кермы гамма-излучения в воздухе. В практическом плане это свидетельствует о том, что глубина пробоотбора почвы, равная 20 см, в настоящее время вполне достаточна для оценки мощности дозы гамма-излучения в воздухе на целинных лугах и в лесах.

Ключевые слова: Чернобыльская авария, луг, лес, почва, ^{137}Cs , вертикальное распределение, мощность кермы в воздухе.

Введение

Вертикальное распределение природных и техногенных радионуклидов в почвенном профиле является определяющим параметром при вычислении мощности дозы гамма-излучения (МД) в воздухе над поверхностью земли и эффективной дозы внешнего облучения человека [1–7].

Для природных радионуклидов (таких как ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th) допущение об их равномерном распределении в земле вполне приемлемо в подавляющем большинстве случаев [1, 8, 9]. При этом переход от удельной активности радионуклида в почве (Бк/кг) к мощности поглощенной дозы в воздухе (Гр/ч) или мощности воздушной кермы в воздухе

Рамзаев Валерий Павлович

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева
Адрес для переписки: 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: V.Ramzaev@mail.ru

(Гр/ч) легко осуществляется с использованием простых коэффициентов [8]. Для техногенных радионуклидов (ТРН), выпавших на поверхность почвы из атмосферы после ядерных взрывов и ядерных аварий, ситуация более сложная. Вертикальное распределение ТРН в почве зависит от физико-химической формы радионуклидов в выпадениях, характера выпадений (сухие или влажные), климатических особенностей региона, свойств почвы, присутствия почвенных животных, использования территории человеком для хозяйственных нужд и времени, прошедшего с момента выпадений [10–16].

К настоящему времени разработаны теоретические подходы и эмпирические модели для описания вертикальных распределений ТРН в почве и вычисления МД в воздухе [6, 7, 17–20]. При этом многие авторы отмечают широкий разброс форм вертикальных распределений и вариabельность скорости миграции ТРН в почвенных профилях (например, [2, 10, 20]). В этих условиях «обобщенная» модель может и не отражать реальную картину распределения и миграции ТРН в почве и временную динамику мощности дозы в воздухе для отдельно взятого участка или региона (например, [16]). Поэтому проведение периодических мониторинговых наблюдений за миграцией ТРН в почве на уровне конкретного региона или его части по-прежнему чрезвычайно важно для своевременного уточнения параметров расчетных моделей и для выполнения корректной оценки мощности дозы гамма-излучения в воздухе на определенном отрезке времени после выпадений радионуклидов из атмосферы на поверхность земли. Одним из таких регионов в России является Брянская область, юго-западная часть территории которой была сильно загрязнена в 1986 г. долгоживущим техноген-

ным радионуклидом ^{137}Cs ($T_{1/2} = 30$ лет) в результате аварии на Чернобыльской АЭС.

Исследования почвенных профилей в Брянской области с целью оценки мощности дозы в воздухе проводились различными авторами, начиная с 1986 г. [6, 9, 21, 22]. Насколько нам известно, репрезентативные опубликованные результаты по этим территориям ограничены 2010 г. [23].

Цель исследования – определение вертикального распределения ^{137}Cs в дерново-подзолистой песчаной почве в лесах и на лугах в юго-западных районах Брянской области в 2015–2016 гг., т.е. спустя примерно 30 лет после Чернобыльской аварии. Полученные распределения были использованы для решения прикладной задачи: вычислить мощность кермы в воздухе на высоте 1 м над почвой на обследованных площадках.

Материалы и методы

Места обследования

Полевые работы выполнялись на территории Новозыбковского, Клиновского, Злынковского и Красnogорского районов Брянской области в летний период 2015 и 2016 гг. Для исследования были выбраны леса и луга с дерново-подзолистыми песчаными и супесчаными почвами. Такой тип почвы имеет весьма обширное распространение в данном регионе [9, 11, 24]. Точные географические координаты и условные названия (коды) 7 луговых и 13 лесных площадок приведены в таблице 1. Там же даны названия ближайших населенных пунктов (н.п.) и даты обследования. Площадки располагались на расстоянии от 0,2 до 4,0 км (средняя = 1,4 км) от центра близлежащего н.п. Высота расположения участков над уровнем моря находилась в диапазоне 130–170 м.

Таблица 1

Экспериментально определенный запас ^{137}Cs в верхних 20 см почвы (A_{Cs}) на луговых и лесных участках, обследованных в Брянской области в 2015–2016 гг., и официально установленная плотность радиоактивного загрязнения почвы цезием-137 для близлежащих населенных пунктов (σ_{Cs})

[Table 1]

Experimentally determined ^{137}Cs inventory in the upper 20 cm of soil (A_{Cs}) in the grassland and forest plots surveyed in the Bryansk region in 2015–2016 and officially established level of ^{137}Cs soil contamination density for the nearby settlements (σ_{Cs})

Дата [Date]	Населенный пункт [Settlement]	Код участка [Code of plot]	Географические координаты участка [Geographic coordinates of a plot]		A _{Cs} (кБк/м²)* [A _{Cs} (kBq/m²)*]	σ _{Cs} (кБк/м²)** [σ _{Cs} (kBq/m²)**]
			° с.ш. [Latitude, °N]	° в.д. [Longitude, °E]		
Луг [Grassland]						
24.08.2015	Муравинка [Muravinka]	Mur-1	52,48168	31,78533	685	592
24.08.2015	Деменка [Demenka]	Dem-Ind	52,49743	31,88307	596	636
24.08.2015	Веприн [Veprin]	Vep-Ush	52,71290	31,89801	628	459
25.08.2015	Муравинка [Muravinka]	Mur-2	52,48188	31,78535	681	592
13.06.2016	Бабаки [Babaki]	Bab-Gol	52,64270	31,59573	1240	1140
13.06.2016	Бабаки [Babaki]	Bab-Hig	52,63822	31,60305	1300	1140
03.08.2016	Бабаки [Babaki]	Bab-wel	52,64295	31,59535	1080	1140
Лес [Forest]						
17.08.2015	Заборье [Zaborie]	Zab-f-1	53,09012	31,72160	1940	2200
17.08.2015	Заборье [Zaborie]	Zab-f-2	53,08391	31,69261	1350	2200
18.08.2015	Городечня [Gorodechnia]	Yal-fo	52,87696	31,63991	392	377

Дата [Date]	Населенный пункт [Settlement]	Код участка [Code of plot]	Географические координаты участка [Geographic coordinates of a plot]		A_{Cs} (кБк/м ²)* [A_{Cs} (kBq/m ²)*]	σ_{Cs} (кБк/м ²)** [σ_{Cs} (kBq/m ²)**]
			° с.ш. [Latitude, °N]	° в.д. [Longitude, °E]		
18.08.2015	Н.Бобовичи [N.Bobovich]	NB-f-b	52,65158	31,74611	776	592
19.08.2015	Бабаки [Babaki]	Bab-fo	52,63519	31,60459	937	1140
19.08.2015	Гривка [Grivka]	Gri-fo	52,58749	31,76524	506	525
20.08.2015	Хохловка [Khohlovka]	Kho-fo	52,42519	32,22504	185	226
20.08.2015	Деменка [Demenska]	Dem-f-p	52,49791	31,87156	420	636
21.08.2015	Веприн [Veprin]	Ver-f-C	52,68639	31,94329	515	459
22.08.2015	Муравинка [Muravinka]	Mur-f-ol	52,47046	31,78855	693	592
23.08.2015	Песчанка [Peschanka]	Pes-f-1	52,87385	32,20709	42,4	56
23.08.2015	Песчанка [Peschanka]	Pes-f-2	52,88914	32,19037	50,9	56
25.08.2015	Мамай [Mamay]	Mam-fo	52,49920	32,00962	446	337

* – запас ^{137}Cs (A_{Cs}) на обследованных участках приведен на дату пробоотбора;

** – плотность загрязнения ^{137}Cs населенных пунктов (σ_{Cs}) приведена на 01.01.2014 г. по данным [28].

[* – the ^{137}Cs inventory (A_{Cs}) at the plots surveyed is given for the date of soil sampling;

** – the ^{137}Cs contamination density for the settlements (σ_{Cs}) is given for 01.01.2014, as reported in [28].]

Регион характеризуется умеренным континентальным климатом. Среднегодовая температура воздуха в месте расположения метеорологической станции в н.п. Красная Гора (53,02° с.ш., 31,60° в.д.; высота над уровнем моря 148 м) в период 1986–2016 гг. была равна 7,0 °С, годовое количество осадков за тот же период – 658 мм (по данным сайта <http://www.pogodaiklimat.ru>).

11 лесных участков располагались в пределах сосновых насаждений. В двух случаях лес был смешанным – сосна и береза (участки Dem-f-p и Mam-fo). Возраст деревьев, в основном, находился в диапазоне от 40 до 70 лет. Все лесные экосистемы сформировались до Чернобыльской аварии. Леса постоянно использовались местным населением для сбора грибов и ягод, хотя после аварии были выработаны рекомендации по ограниченному использованию загрязненных лесов (например, [25]). Луговые площадки представляли собой целинные земли, не подвергавшиеся перепашке после Чернобыльской аварии. Отметим, однако, что площадки Ver-Ush, Bab-Gol и Bab-wel использовались после аварии в качестве пастбищ для скота. Площадка Ver-Ush расположена в заливной пойме реки Ипуть; остальные площадки расположены на сухих возвышенных местах. Все луговые участки были в предыдущие годы обследованы в рамках других проектов [9, 23], и результаты исследования вертикального распределения радиоцезия в почве подтвердили целинный характер этих участков.

Отбор проб почвы

Работы проводили на горизонтальных площадках размером примерно 10×10 м. Основным визуальным критерием выбора участков было отсутствие признаков техногенного нарушения поверхности почвы. На 3 луговых площадках (Ver-Ush, Bab-Gol, Bab-wel) были найдены отчетливые следы деятельности роющих почвенных млекопитающих, в частности, кротов.

Отбор проб почвы до глубины 20 см проводили в 7 точках по схеме, представленной на рисунке 3 в [15]. Для взятия почвенных кернов (площадь поперечного сечения каждого равна 20 см²) использовали стандартный стальной пробоотборник (описание и фото даны в [15, 26]), который забивали в почву вертикально. Подстилку, наземные мхи и лишайники при этом предварительно не удаляли, поэтому в процессе пробоотбора происходило заметное уплотнение верхнего органического слоя. Керна разрезали на горизонтальные слои толщиной 2 см. В лесу верхний 0–2 см слой, как правило, содержал, в основном, органический материал. Соответствующие слои из всех 7 кернов объединяли в 1 пробу. Влажный (свежий) вес (в.в.) проб определяли в день отбора. По результатам взвешивания была определена глубина пробоотбора в терминах массовой толщины (г/см²) для отдельных слоев и керна в целом. Сухой вес (с.в.) определяли после высушивания почвы до постоянного веса при температуре около 25 °С в зимний период времени в лаборатории. Содержание воды в почве вычисляли по разнице между влажным и сухим весом.

Измерение активности ^{137}Cs в пробах

Определение активности ^{137}Cs в пробах проводили при помощи полупроводникового гамма-спектрометра с размещением детектора (HPGe) и счетного образца внутри низкофоновой камеры [27]. Статистическая ошибка (1 сигма) оценки площади фотопика с энергией 662,6 кэВ не превышала 5% и в подавляющем большинстве случаев была меньше 3%. Результаты измерений для каждого слоя почвы выражены в терминах активности на единицу массы почвы (удельная активность, Бк/кг) и активности на единицу площади поверхности почвы (запас, кБк/м²). Для получения суммарной активности ^{137}Cs в слое почвы полученное значение удельной активности для него умножалось на полную массу отобранной почвы для соответствующего слоя. Общий запас ^{137}Cs в почве (A_{Cs}) был

получен путем суммирования значений запаса во всех десяти слоях.

Вычисление средней глубины миграции ^{137}Cs в почве (Z) проводили по формуле, приведенной в работе [15]:

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

где Z_i – глубина центра i -го слоя и q_i – доля A_{cs} в данном слое. Глубина выражается в терминах линейной толщины (см) или массовой толщины (г/см²).

Результаты определения содержания ^{137}Cs в почве на луговых площадках (за исключением участка Dem-Ind) были использованы ранее для оценки влияния жизнедеятельности европейского крота (*Talpa europaea* L.) на вертикальное распределение ^{137}Cs в почве [15].

Расчет мощности воздушной кермы от ^{137}Cs в почве

При расчете мощности кермы в воздухе (KR_{cs} , нГр/ч) на высоте 1 м над поверхностью земли от источника ^{137}Cs в почве предполагали, что активность ^{137}Cs внутри каждого слоя почвы представлена в виде плоского горизонтального изотропного источника, расположенного в середине слоя. Вычисления KR_{cs} проводили для каждого слоя почвы с использованием табулированных коэффициентов перехода, приведенных в работе [18]. Для получения результирующей мощности кермы в воздухе от всех слоев мы использовали формулу:

$$KR_{cs} = 3600 \times \sum_i C(z_i) \times A(z_i) \times Y_{662}, (2)$$

где KR_{cs} – мощность кермы (Гр/час) в воздухе на высоте 1 м над поверхностью земли;

$C(z_i)$ – коэффициент перехода от интенсивности источника в почве к воздушной керме (Гр на фотон/м²);

z_i – массовая глубина (г/см²) залегания плоского источника по отношению к поверхности земли;

$A(z_i)$ – запас ^{137}Cs (Бк/м²), расположенный на глубине z_i (г/см²);

Y_{662} – выход фотонов с энергией 662 кэВ при распаде ^{137}Cs – ^{137m}Ba , равный 0,85 кванта на один распад.

Расчеты мощности кермы в воздухе были выполнены, исходя из экспериментально установленных распределений ^{137}Cs в нативной (влажной) почве.

Статистический анализ

Были вычислены следующие статистические параметры: медиана, среднее значение, стандартное отклонение и коэффициент вариации. Различия между группами исследовали с использованием непараметрического теста Манна – Уитни. Для определения связи между переменными применяли непараметрический критерий Спирмена. Критическим являлось значение P , равное 0,05.

Результаты и обсуждение

Массовая глубина пробоотбора и содержание влаги в почве

Толщина самого верхнего 2-сантиметрового слоя почвы, выраженная в терминах массы на единицу площади, заметно варьировала от участка к участку (табл. 2). Минимальное значение (0,67 г/см², в.в.) было зарегистрировано в лесу (уч. NB-f-b), максимальное (2,55 г/см², в.в.) – на лугу (уч. Bab-wel). Разница между участками в массовой толщине верхнего слоя керна объяснялась присутствием большого количества сравнительно сухого органического материала в пробах из леса. По мере нарастания линейной глубины почвы разница в показателе массовой глубины между площадками уменьшалась, что выражалось в снижении коэффициента вариации с 30% (глубина 0–2 см) до 5,6% (глубина 0–20 см) в лесу и с 29% (глубина 0–2 см) до 3,4% (глубина 0–20 см) на лугу. Массовая глубина пробоотбора в лесу (в среднем 29,3 г/см²) статистически значимо не отличалась ($P > 0,05$) от таковой на лугу (в среднем 29,8 г/см²). Это объясняется практически одинаковым типом почвы для всех участков и отсутствием статистически значимых различий ($P > 0,05$) между локациями «Лес» и «Луг» по показателю содержания влаги в верхнем 20-сантиметровом слое почвы (табл. 3). Тем не менее, отметим, что содержание воды в отдельных слоях широко варьиро-

Таблица 2

Кумулятивная массовая толщина (г/см², влажный вес) слоев почвы на луговых и лесных участках, обследованных в Брянской области в 2015–2016 гг.

[Table 2]

Cumulative mass thickness (g/cm², wet weight) of soil layers at the grassland and forest plots surveyed in the Bryansk region in 2015–2016]

Участок [Plot]	Массовая толщина (г/см ²) слоя глубиной: [Mass thickness (g/cm ²) of the layer depth:]									
	0–2 см [0–2 cm]	0–4 см [0–4 cm]	0–6 см [0–6 cm]	0–8 см [0–8 cm]	0–10 см [0–10 cm]	0–12 см [0–12 cm]	0–14 см [0–14 cm]	0–16 см [0–16 cm]	0–18 см [0–18 cm]	0–20 см [0–20 cm]
Луг [Grassland]										
Mur-1	1,69	3,70	6,89	10,33	13,50	16,83	20,26	23,64	26,86	30,26
Dem-Ind	1,49	3,64	6,51	9,38	12,57	15,96	19,36	22,94	26,65	30,33
Vep-Ush	1,28	2,82	4,91	7,37	10,11	13,24	16,81	20,01	23,77	27,67
Mur-2	1,14	2,87	5,74	8,94	12,25	15,66	18,86	22,42	25,90	29,49
Bab-Gol	2,19	4,46	7,04	9,94	13,16	16,24	19,52	23,32	26,94	30,69
Bab-Hig	1,99	4,00	6,58	9,50	12,72	15,91	19,41	22,73	26,27	29,81
Bab-wel	2,55	4,68	7,12	9,91	12,89	16,03	19,22	22,52	26,18	30,07

Окончание таблицы 2

Участок [Plot]	Массовая толщина (г/см ²) слоя глубиной: [Mass thickness (g/cm ²) of the layer depth:]									
	0–2 см [0–2 cm]	0–4 см [0–4 cm]	0–6 см [0–6 cm]	0–8 см [0–8 cm]	0–10 см [0–10 cm]	0–12 см [0–12 cm]	0–14 см [0–14 cm]	0–16 см [0–16 cm]	0–18 см [0–18 cm]	0–20 см [0–20 cm]
Медиана [Median]	1,69	3,70	6,58	9,50	12,72	15,96	19,36	22,73	26,27	30,07
Средняя [Mean]	1,76	3,74	6,40	9,34	12,46	15,70	19,06	22,51	26,08	29,76
С.о. [SD]	0,51	0,72	0,80	0,98	1,11	1,14	1,08	1,18	1,09	1,00
К.в. (%) [CV (%)]	29	19	13	10	8,9	7,3	5,7	5,3	4,2	3,4
Лес [Forest]										
Zab-f-1	0,73	2,26	5,09	8,44	11,62	15,18	18,79	22,61	26,45	31,38
Zab-f-2	0,79	2,84	5,59	8,56	11,44	14,69	17,95	21,35	24,56	28,73
Yal-fo	0,83	3,03	5,94	9,16	12,33	15,60	18,88	22,32	25,80	29,84
NB-f-b	0,67	2,31	4,63	7,26	9,96	13,04	16,23	19,49	22,60	26,90
Bab-fo	1,22	3,58	6,52	9,58	12,64	15,82	19,15	22,64	26,50	30,80
Gri-fo	1,00	2,79	5,72	8,92	12,36	15,69	19,21	22,91	26,46	30,20
Kho-fo	1,10	3,13	6,01	9,32	12,69	16,19	19,97	23,73	27,45	31,53
Dem-f-p	1,27	3,21	6,09	9,12	12,19	15,55	19,09	22,65	26,17	30,22
Vep-f-C	1,00	2,72	5,13	7,81	10,66	13,64	16,89	20,16	23,41	26,98
Mur-f-ol	0,82	2,81	5,66	8,87	12,36	15,78	19,11	22,58	26,29	30,19
Pes-f-1	0,91	3,06	5,93	8,86	12,00	15,14	18,40	21,69	24,86	28,69
Pes-f-2	0,74	3,08	6,04	9,08	12,34	15,55	18,86	22,37	25,71	29,22
Mam-fo	1,76	3,82	6,55	9,04	11,68	14,52	17,35	20,67	23,87	26,71
Медиана [Median]	0,91	3,03	5,93	8,92	12,19	15,55	18,86	22,37	25,80	29,84
Средняя [Mean]	0,99	2,97	5,76	8,77	11,87	15,11	18,45	21,94	25,39	29,34
С.о. [SD]	0,30	0,44	0,55	0,63	0,80	0,92	1,06	1,21	1,43	1,65
К.в. (%) [CV (%)]	30	15	10	7,2	6,7	6,1	5,8	5,5	5,6	5,6

С.о. – стандартное отклонение;

К.в. – коэффициент вариации.

[SD – standard deviation;

CV – coefficient of variation.]

Таблица 3

Содержание воды в слоях почвы на луговых и лесных участках, обследованных в Брянской области в 2015–2016 гг.

[Table 3

Content of water in soil layers at the grassland and forest plots surveyed in the Bryansk region in 2015–2016]

Участок [Plot]	Содержание воды (%) в слое: [Content of water (%) in the layer:]										
	0–2 см [0–2 cm]	2–4 см [2–4 cm]	4–6 см [4–6 cm]	6–8 см [6–8 cm]	8–10 см [8–10 cm]	10–12 см [10–12 cm]	12–14 см [12–14 cm]	14–16 см [14–16 cm]	16–18 см [16–18 cm]	18–20 см [18–20 cm]	0–20 см [0–20 cm]
Луг [Grassland]											
Mur-1	6,4	5,2	3,2	3,0	2,8	2,9	2,8	2,9	2,8	2,7	3,2
Dem-Ind	2,9	3,0	3,0	3,2	3,0	3,3	3,7	3,4	4,2	3,9	3,4
Vep-Ush	2,6	3,3	4,7	4,1	2,8	2,6	2,2	2,1	3,2	3,2	3,0
Mur-2	5,3	4,3	3,5	3,4	3,3	2,9	2,5	3,0	3,8	3,2	3,3
Bab-Gol	4,8	6,5	6,3	5,6	5,3	5,0	5,0	5,2	5,3	5,1	5,4
Bab-Hig	5,3	5,7	4,1	3,1	3,3	3,3	3,4	3,4	2,6	3,4	3,6

Участок [Plot]	Содержание воды (%) в слое: [Content of water (%) in the layer:]										
	0–2 см [0–2 cm]	2–4 см [2–4 cm]	4–6 см [4–6 cm]	6–8 см [6–8 cm]	8–10 см [8–10 cm]	10–12 см [10–12 cm]	12–14 см [12–14 cm]	14–16 см [14–16 cm]	16–18 см [16–18 cm]	18–20 см [18–20 cm]	0–20 см [0–20 cm]
Bab-wel	6,1	6,0	5,2	4,4	4,3	3,9	4,0	3,9	3,7	3,7	4,4
Медиана [Median]	5,3	5,2	4,1	3,4	3,3	3,3	3,4	3,4	3,7	3,4	3,4
Средняя [Mean]	4,8	4,9	4,3	3,8	3,5	3,4	3,4	3,4	3,7	3,6	3,8
С.о. [SD]	1,5	1,4	1,2	0,9	0,9	0,8	1,0	1,0	0,9	0,8	0,9
К.в. (%) [CV (%)]	31	28	28	25	26	24	29	28	25	21	23
Лес [Forest]											
Zab-f-1	20	7,0	4,0	3,3	2,5	5,0	2,6	2,3	2,3	2,4	3,6
Zab-f-2	14	5,5	3,6	3,4	3,0	3,2	3,6	3,3	3,2	3,4	3,8
Yal-fo	15	6,5	3,9	3,6	3,7	3,6	3,4	3,9	4,4	4,0	4,3
NB-f-b	17	6,6	4,0	3,1	2,8	2,6	3,2	2,7	3,5	3,3	3,7
Bab-fo	8,5	1,9	2,2	3,3	3,1	3,2	2,9	3,0	3,4	3,5	3,2
Gri-fo	22	6,9	3,4	3,2	3,3	3,3	3,0	4,0	2,8	3,3	4,1
Kho-fo	9,3	4,5	4,7	2,7	2,5	2,2	2,1	2,1	2,3	1,7	2,8
Dem-f-p	11	4,3	3,2	2,9	2,6	2,7	2,8	2,8	3,0	4,0	3,4
Vep-f-C	8,8	6,7	5,7	4,4	3,5	3,8	3,8	3,8	4,5	4,4	4,5
Mur-f-ol	13	6,3	3,5	3,4	3,0	3,3	3,8	3,6	3,7	3,7	3,9
Pes-f-1	11	5,3	3,9	3,6	3,7	3,2	3,4	3,1	2,8	3,0	3,7
Pes-f-2	9,6	4,0	2,7	2,9	2,5	2,3	2,7	2,4	2,9	2,2	2,9
Mam-fo	4,6	3,7	4,1	4,4	4,5	4,7	4,5	4,3	4,7	4,0	4,4
Медиана [Median]	11	5,5	3,9	3,3	3,0	3,2	3,2	3,1	3,2	3,4	3,7
Средняя [Mean]	13	5,3	3,8	3,4	3,1	3,3	3,2	3,2	3,3	3,3	3,7
С.о. [SD]	5	1,6	0,9	0,5	0,6	0,8	0,6	0,7	0,8	0,8	0,5
К.в. (%) [CV (%)]	39	29	23	15	19	25	20	22	24	24	15

С.о. – стандартное отклонение;

К.в. – коэффициент вариации.

[SD – standard deviation;

CV – coefficient of variation.]

вало от 22% (преимущественно органический материал в слое 0–2 см в лесу) до 2% (минеральные глубинные слои в лесу и на лугу). Содержание влаги во всем почвенном керне было крайне низким – до 5,4%. Этот показатель существенно меньше репрезентативной величины ~19%, используемой в докладе НКДАР ООН за 2000 г. [8] в отношении почвы вообще. Низкое содержание влаги в наших пробах можно объяснить нахождением участков на возвышенных местах, преимущественно песчаным типом почвы и длительным засушливым периодом, который предшествовал отбору проб.

Содержание ^{137}Cs в почве

Результаты определения удельной активности (УА) ^{137}Cs в последовательных слоях для индивидуальных участков обобщены в таблице 4. В пробах сухой почвы ($n = 200$) УА варьировала от 6,35 Бк/кг до 83 300 Бк/кг при среднем и медианном значении 4550 Бк/кг и 489 Бк/кг соответственно. Столь значительные различия между значениями УА в отдельных пробах были связаны как с вариабельностью интенсивности исходных чернобыльских выпадений на обследованных территориях, так и с неравномерностью распределения радионуклида в почвенном профиле.

Таблица 4

Удельная активность ^{137}Cs в слоях почвы на луговых и лесных участках, обследованных в Брянской области в 2015–2016 гг.

[Table 4]

Activity concentration of ^{137}Cs in soil layers at the grassland and forest plots surveyed in the Bryansk region in 2015–2016]

Участок [Plot]	Удельная активность (Бк/кг, сухой вес) ^{137}Cs в слое: [Activity concentration (Bq/kg, dry weight) of ^{137}Cs in the layer:]									
	0–2 см [0–2 cm]	2–4 см [2–4 cm]	4–6 см [4–6 cm]	6–8 см [6–8 cm]	8–10 см [8–10 cm]	10–12 см [10–12 cm]	12–14 см [12–14 cm]	14–16 см [14–16 cm]	16–18 см [16–18 cm]	18–20 см [18–20 cm]
Луг [Grassland]										
Mur-1	22300	12100	2220	524	176	95,2	75,4*	58,5*	46,4*	34,0*
Dem-Ind	11900	13500	3970	588	262	84,0*	33,2*	31,1*	37,6*	30,3*
Vep-Ush	4760	7290	8890	7650	2090	895	275	125	100	52,0*
Mur-2	20000	18600	4270	745	224	96,6	91,4*	33,2*	26,5*	43,0*
Bab-Gol	10800	11100	9190	6650	4630	3040	2070	1160	692	384
Bab-Hig	39300	24700	2480	610	194*	99,5*	77,2*	50,6*	38,3*	41,5*
Bab-wel	9950	10500	9490	5900	3660	2170	1310	836	403	171
Лес [Forest]										
Zab-f-1	41100	62700	22800	3550	1030	481	281	167	104	58,4*
Zab-f-2	83300	25600	5240	1680	884	767	751	464	275	171
Yal-fo	25100	8350	809	167	117	96,4	78,7*	71,1*	53,3*	40,4*
NB-f-b	32000	20700	7360	2690	617	487	236	125	110*	89,1*
Bab-fo	31860	12800	3940	1840	886	786	550	541	503	297
Gri-fo	24900	12400	1940	852	280	120	114	89,5	70,6	39,9
Kho-fo	2260	4200	1960	517	153	36,0*	31,3*	30,6*	43,2	13,9
Dem-f-p	9800	8450	2720	981	491	276	247	177*	145*	106*
Vep-f-C	24600	9250	3650	817	407	227	148	260	132	89,2*
Mur-f-ol	40000	15200	2390	720	275	172	132	136	193	149
Pes-f-1	2010	637	207	94,6	65,6	33,4	20,4	15,7	8,91	6,94
Pes-f-2	2590	1010	190	73,0	42,2*	23,9*	14,0*	10,6*	9,12	6,35
Mam-fo	5400	5470	3030	2020	1970	1110	615	349	286	123

* – статистическая ошибка (1 сигма) определения площади фотопика 662 кэВ находится в диапазоне 3–5%; для проб, не отмеченных звездочкой, эта ошибка лежит ниже 3%.

[* – the statistical error (1 sigma) of the 662 keV peak area determination is in the range 3–5%; for the samples that are not marked by an asterisk, the error is below 3%.]

На лугах в 3 случаях (Bab-Hig, Mur-1, Mur-2) максимальная УА была определена в самом верхнем слое (графический пример дан на рисунке, панель «а»). С увеличением глубины УА снижалась и достигала минимума в наиболее глубоких слоях. Разница между поверхностным и самым глубоким слоем составляла 2–3 порядка величины. Такое распределение УА ^{137}Cs в определенной степени напоминало картину, наблюдавшуюся на целинных луговых участках в более ранние годы после аварии [9, 15, 21]. В 3 случаях (Dem-Ind, Bab-Gol, Bab-wel) отмечалось сравнительно равномерное распределение ^{137}Cs в верхних 4–6 см с последующим уменьшением УА с нарастанием глубины (см. пример на рисунке, панель «а»). На участке Vep-Ush пик УА ^{137}Cs был обнаружен в слое 4–6 см (см. рис., панель «а»). Для участков Vep-Ush, Bab-Gol и Bab-wel отсутствие максимума в верхнем слое было связано с активностью кро-

тов, которые перемещают и перемешивают слои грунта [15]. Использование этих трех участков для выпаса скота также являлось фактором, способствовавшим перемешиванию верхних слоев почвы. На участке Dem-Ind кротовины обнаружены не были; выпас скота не проводился. Однако на поверхности почвы были обнаружены многочисленные микродорожки и выбросы светлого песка, оставленные муравьями, ведущими полуподземный образ жизни и строящими свои гнезда под землей.

В лесу наиболее типичным (в 10 случаях) было наличие максимума УА ^{137}Cs в самом верхнем слое и выраженное снижение этого показателя с глубиной (см. пример на рисунке, панель «б»). На площадках Zab-f-1 и Kho-fo максимум УА был обнаружен в слое 2–4 см, непосредственно под сравнительно толстым слоем свежего и частично перегнившего опада. В одном случае (Mam-

fo) значения УА в слоях 0–2 см и 2–4 см совпадали друг с другом. Особенностью этого участка, по сравнению с другими участками, являлось пологое снижение УА ^{137}Cs с глубиной (см. рис., панель «b»). Лесной массив здесь представлен сравнительно молодыми (~40–45 лет) на-

саждениями сосны и березы; подстилка была малоразвита, а почва отличалась рыхлостью. Мы не исключаем, что комбинация упомянутых факторов могла способствовать более интенсивной вертикальной миграции радиоцезия в почве.

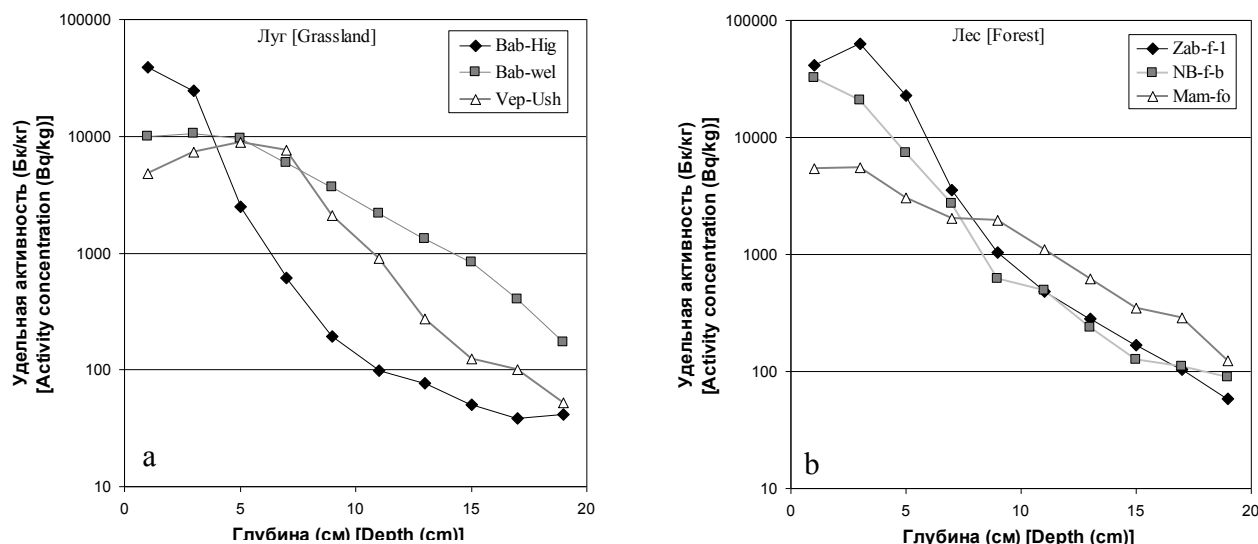


Рис. Вертикальное распределение ^{137}Cs по показателю удельной активности в почве на 3 луговых (панель «a») и 3 лесных (панель «b») участках, обследованных в Брянской области в 2015–2016 гг. Удельная активность дана на сухой вес проб
[Fig.] Vertical distribution of ^{137}Cs (for the activity concentration quantity) at the three grassland (panel «a») and three forest (panel «b») plots surveyed in the Bryansk region in 2015–2016. The activity concentrations are given for dry weight of the samples]

Экспериментально полученные значения общего запаса ^{137}Cs в верхних 20 см почвы (A_{cs}) на площадках находились в диапазоне от 42 до 1940 $\text{кБк}/\text{м}^2$ (столбец 6 в таблице 1). Значения A_{cs} положительно и статистически значимо коррелировали ($R_{sp} = 0,905$; $P < 0,01$, $n = 20$) с официально установленными [28] уровнями плотности радиоактивного загрязнения почвы цезием-137 (σ_{cs}) на территории близлежащих населенных пунктов (столбец 7 в таблице 1). Кроме того, после поправки на радиоактивный распад отмечалась очень близкая сходимость между абсолютными величинами A_{cs} и σ_{cs} : максимальное значение отношения A_{cs}/σ_{cs} было равно 1,37, а минимальное – 0,63. В среднем отношение A_{cs}/σ_{cs} равнялось 1,05 при величине стандартного отклонения 0,22 и медиане 1,05.

Распределение активности ^{137}Cs между слоями почвы для каждого участка даны в таблице 5. Для большей наглядности все распределения представлены в виде накопления относительной активности (%) с глубиной. В той же таблице даны средние значения и медианы отдельно для локаций «Луг» и «Лес». На луговых участках отмечался очень широкий разброс значений доли активности, содержащейся в самом верхнем 2-сантиметровом слое – от 9 до 57%. Наименьшие значения были определены для тех площадок (Vep-Ush, Bab-Gol, Bab-wel), где были найдены свежие и старые кротовины. Несколько меньший разброс значений доли активности, содержащейся в верхнем слое, был определен для лесных участ-

ков – от 12 до 45%. Наименьшие значения были определены для участков Zab-f-1 и Kho-fo, характеризующихся толстым слоем лесной подстилки. В среднем и в лесу и на лугу верхний 2-сантиметровый слой почвы содержал около 1/3 общего запаса ^{137}Cs . По мере нарастания толщины отобранной почвы доля общего запаса ^{137}Cs быстро увеличивалась, и на всех обследованных участках верхний 6-сантиметровый слой содержал более 50% запаса; на многих участках в этом слое находилось более 90% общего запаса.

Вертикальная миграция радиоцезия в почве на обследованных участках, в основном, ограничивалась верхними 10 см, которые в среднем содержали 94% от общего запаса ^{137}Cs , находящегося в 0–20-сантиметровом слое лесной или луговой почвы. Менее 1% общего запаса ^{137}Cs было обнаружено в самом нижнем отобранном слое почвы (18–20 см).

Средняя глубина миграции ^{137}Cs в почве (табл. 6) варьировала от 2,12 до 6,12 см. Средняя глубина миграции в терминах массовой толщины колебалась для влажной почвы от 2,05 до 7,93 $\text{г}/\text{см}^2$. Для сухой почвы этот показатель был на 3–10% меньше. Хотя в среднем центр залегания ^{137}Cs , определенный по всем трем показателям, находился на луговых участках несколько глубже, по сравнению с лесными участками (см. табл. 6), статистически значимых различий между двумя локациями обнаружено не было ($P > 0,05$).

Вертикальное распределение запаса ^{137}Cs (A_{Cs}) в верхних 20 см почвы на луговых и лесных участках, обследованных в Брянской области в 2015–2016 гг.

Таблица 5

Vertical distribution of ^{137}Cs inventory (A_{Cs}) in the top 20 cm of soil at the grassland and forest plots surveyed in the Bryansk region in 2015–2016]

[Table 5

Участок [Plot]	A _{Cs} (кБк/м ²) [A _{Cs} (kBq/m ²)]	Доля A _{Cs} (%) в слое: [Portion (%) of A _{Cs} in the layer:]								
		0–2 см [0–2 cm]	0–4 см [0–4 cm]	0–6 см [0–6 cm]	0–8 см [0–8 cm]	0–10 см [0–10 cm]	0–12 см [0–12 cm]	0–14 см [0–14 cm]	0–16 см [0–16 cm]	0–18 см [0–18 cm]
Луг [Grassland]										
Mur-1	685	51,6	85,2	95,2	97,7	98,5	99,0	99,3	99,6	99,8
Dem-Ind	596	28,9	76,1	94,7	97,4	98,8	99,2	99,4	99,6	99,8
Vep-Ush	628	9,4	26,8	54,9	83,7	92,6	97,0	98,5	99,1	99,7
Mur-2	681	31,8	76,8	94,2	97,5	98,6	99,1	99,5	99,7	99,8
Bab-Gol	1240	18,3	37,2	55,1	69,8	81,2	88,4	93,6	97,0	98,9
Bab-Hig	1300	56,9	92,7	97,4	98,8	99,2	99,5	99,7	99,8	99,9
Bab-wel	1080	22,7	41,6	63,2	80,0	88,6	93,2	96,1	98,0	99,4
Медиана [Median]		28,9	76,1	94,2	97,4	98,5	99,0	99,3	99,6	99,8
Средняя [Mean]		31,4	62,3	79,2	89,3	93,9	96,5	98,0	99,0	99,6
C.o. [SD]		17,3	26,4	20,3	11,5	6,9	4,2	2,3	1,1	0,4
К.в. (%) [CV (%)]		55	42	26	13	7,4	4,4	2,4	1,1	0,4
Лес [Forest]										
Zab-f-1	1940	12,3	58,5	90,4	96,3	98,0	98,8	99,3	99,7	99,9
Zab-f-2	1350	41,6	78,5	88,8	92,3	94,2	96,0	97,7	98,9	99,5
Yal-fo	392	45,3	89,1	94,9	96,2	97,1	97,9	98,5	99,1	99,6
NB-f-b	776	23,0	63,7	84,9	93,7	95,8	97,6	98,6	99,1	99,5
Bab-fo	937	38,0	69,5	81,6	87,4	90,2	92,8	94,7	96,7	98,7
Gri-fo	506	38,3	79,1	90,0	95,2	97,1	97,8	98,6	99,2	99,7
Kho-fo	185	12,2	56,1	85,3	94,2	97,0	97,6	98,2	98,8	99,7
Dem-f-p	420	26,4	63,8	81,9	88,7	92,2	94,4	96,4	97,8	99,0
Vep-f-C	515	43,7	72,5	88,6	92,7	94,9	96,1	97,0	98,6	99,4
Mur-f-ol	693	41,3	82,0	91,5	94,8	96,1	96,9	97,5	98,2	99,2
Pes-f-1	42,4	38,7	69,2	82,7	89,0	93,6	96,0	97,6	98,7	99,4
Pes-f-2	50,9	33,8	78,3	89,1	93,3	95,9	97,4	98,3	99,0	99,6
Mam-fo	446	20,4	44,6	62,4	73,2	84,4	91,1	94,8	97,3	99,2
Медиана [Median]		38,0	69,5	88,6	93,3	95,8	96,9	97,7	98,8	99,5
Средняя [Mean]		31,9	69,6	85,5	91,3	94,3	96,2	97,5	98,5	99,4
C.o. [SD]		11,7	12,2	8,0	6,1	3,7	2,2	1,4	0,8	0,3
К.в. (%) [CV (%)]		37	18	9,4	6,7	3,9	2,3	1,5	0,9	0,3

С.о. – стандартное отклонение;

К.в. – коэффициент вариации.

[SD – standard deviation;

CV – coefficient of variation.]

Средняя линейная и массовая глубина миграции ^{137}Cs в верхних 20 см почвы на луговых и лесных участках, обследованных в Брянской области в 2015–2016 гг.

Таблица 6

The mean linear and mass migration depths of ^{137}Cs in the top 20 cm of soil at the grassland and forest plots surveyed in the Bryansk region in 2015–2016]

[Table 6

Участок [Plot]	Средняя глубина миграции ^{137}Cs [^{137}Cs mean migration depth]		
	см [cm]	г/см ² , в.в. [g/cm ² , w.w.]	г/см ² , с.в. [g/cm ² , d.w.]
Луг [Grassland]			
Mur-1	2,48	2,48	2,35
Dem-Ind	3,12	2,98	2,89
Vep-Ush	5,77	5,11	4,93
Mur-2	3,06	2,46	2,35
Bab-Gol	6,21	7,93	7,49
Bab-Hig	2,12	2,20	2,08
Bab-wel	5,55	7,04	6,66
Медиана [Median]	3,12	2,98	2,89
Средняя [Mean]	4,04	4,31	4,11
С.о. [SD]	1,73	2,39	2,25
К.в. (%) [CV (%)]	43	55	55
Лес [Forest]			
Zab-f-1	3,94	2,83	2,58
Zab-f-2	3,25	2,73	2,55
Yal-fo	2,64	2,05	1,89
NB-f-b	3,88	2,77	2,57
Bab-fo	4,00	4,36	4,19
Gri-fo	3,10	2,58	2,31
Kho-fo	4,22	3,96	3,75
Dem-f-p	4,19	4,26	4,03
Vep-f-C	3,33	2,76	2,58
Mur-f-ol	3,05	2,52	2,35
Pes-f-1	3,70	3,47	3,28
Pes-f-2	3,31	2,83	2,70
Mam-fo	5,65	6,35	6,08
Медиана [Median]	3,70	2,83	2,58
Средняя [Mean]	3,71	3,34	3,14
С.о. [SD]	0,76	1,15	1,13
К.в. (%) [CV (%)]	20	34	36

в.в. – влажный вес;
с.в. – сухой вес;
С.о. – стандартное отклонение;
К.в. – коэффициент вариации.
[w.w. – wet weight;
d.w. – dry weight;
SD – standard deviation;
CV – coefficient of variation.]

Наш пробоотбор был ограничен глубиной 20 см, однако из рисунка очевидно, что какая-то часть изначально выпавшего ^{137}Cs мигрировала и глубже. Присутствие ^{137}Cs на глубине более 20 см некоторые авторы отмечали еще в 1990-е гг. [11, 29]. Наличие небольшого количества чернобыльского ^{137}Cs на глубине более 20 см в

лесах и на целинных лугах не является критичным для оценки общего запаса, т.к. официально установленные уровни загрязнения территории ^{137}Cs (σ_{Cs}) и экспериментально определенные нами значения запаса ^{137}Cs в почве (A_{Cs}) в среднем хорошо соответствуют друг другу (см. табл. 1).

Мощность воздушной кермы

Вычисленные значения мощности кермы в воздухе на высоте 1 м над поверхностью почвы (KR_{cs}) находились в диапазоне от 52 до 2240 нГр/ч (в среднем 807 нГр/ч) (табл. 7). Эти значения соответствуют распределению

активности ^{137}Cs во влажной (нативной) почве. Для сухой почвы величина KR_{cs} должна быть увеличена на 3%. Радиоцезий, находящийся в самом верхнем 2-сантиметровом слое, определял в среднем 46% KR_{cs} и в лесу, и на лугу. В среднем около 95% KR_{cs} в лесу и ~90% KR_{cs} на лугу

Таблица 7

Мощность воздушной кермы (KR_{cs}) от ^{137}Cs в верхних 20 см почвы и доля KR_{cs} , ассоциированная с радиоактивностью слоев почвы (для влажной почвы)

[Table 7]

Air kerma rate (KR_{cs}) from ^{137}Cs in the top 20 cm of soil and the proportion of KR_{cs} associated with the radioactivity in the soil layers (for wet soil)

Участок [Plot]	KR _{Cs} (нГр/ч) [KR _{Cs} (nGy/h)]	Доля (%) KR _{Cs} от ¹³⁷ Cs в слое: [Proportion (%) of KR _{Cs} from ¹³⁷ Cs in the layer:]								
		0–2 см [0–2 cm]	0–4 см [0–4 cm]	0–6 см [0–6 cm]	0–8 см [0–8 cm]	0–10 см [0–10 cm]	0–12 см [0–12 cm]	0–14 см [0–14 cm]	0–16 см [0–16 cm]	0–18 см [0–18 cm]
Луг [Grassland]										
Mur-1	839	65,9	93,2	98,6	99,53	99,76	99,86	99,92	99,96	99,99
Dem-Ind	663	42,3	86,7	98,1	99,29	99,76	99,89	99,93	99,95	99,98
Vep-Ush	538	19,2	43,6	71,4	92,27	97,22	99,14	99,66	99,83	99,95
Mur-2	835	44,1	87,2	98,0	99,40	99,74	99,86	99,94	99,96	99,98
Bab-Gol	899	38,5	62,5	78,3	88,12	94,01	96,95	98,63	99,47	99,84
Bab-Hig	1600	69,5	96,7	99,2	99,73	99,87	99,92	99,96	99,98	99,99
Bab-wel	822	43,3	64,4	81,9	92,32	96,56	98,33	99,21	99,65	99,91
Медиана [Median]	–	43,3	86,7	98,0	99,29	99,74	99,86	99,92	99,95	99,98
Средняя [Mean]	–	46,1	76,3	89,4	95,81	98,13	99,14	99,61	99,83	99,95
С.о. [SD]	–	17,1	19,7	11,8	4,80	2,28	1,13	0,51	0,20	0,06
К.в. (%) [CV (%)]	–	37	26	13	5,0	2,3	1,1	0,5	0,2	0,06
Лес [Forest]										
Zab-f-1	2240	19,3	72,5	96,1	98,98	99,57	99,80	99,91	99,96	99,99
Zab-f-2	1790	56,3	90,9	96,9	98,35	98,92	99,36	99,70	99,88	99,95
Yal-fo	546	57,8	95,7	98,8	99,31	99,56	99,73	99,84	99,92	99,97
NB-f-b	956	34,3	78,7	93,8	98,20	99,00	99,56	99,79	99,88	99,95
Bab-fo	1050	57,0	87,4	94,8	97,28	98,22	98,91	99,31	99,63	99,88
Gri-fo	648	51,8	90,3	96,8	98,95	99,51	99,69	99,83	99,92	99,98
Kho-fo	186	21,1	72,1	93,7	98,36	99,41	99,61	99,75	99,86	99,97
Dem-f-p	446	41,8	81,4	93,8	97,10	98,40	99,03	99,49	99,74	99,90
Vep-f-C	663	59,0	86,3	96,5	98,28	99,02	99,37	99,56	99,83	99,94
Mur-f-ol	931	54,8	92,3	97,8	99,05	99,45	99,63	99,74	99,83	99,93
Pes-f-1	51,6	56,2	86,2	94,5	97,18	98,73	99,35	99,66	99,86	99,94
Pes-f-2	65,1	47,9	90,5	96,8	98,46	99,27	99,62	99,79	99,89	99,96
Mam-fo	373	39,0	68,4	83,0	89,52	94,98	97,64	98,84	99,48	99,88
Медиана [Median]	–	51,8	86,3	96,1	98,35	99,02	99,56	99,74	99,86	99,95
Средняя [Mean]	–	45,9	84,0	94,9	97,62	98,77	99,33	99,63	99,82	99,94
С.о. [SD]	–	13,8	8,7	3,9	2,54	1,22	0,57	0,29	0,13	0,04
К.в. (%) [CV (%)]	–	30	10	4,1	2,6	1,2	0,6	0,3	0,1	0,04

С.о. – стандартное отклонение;

К.в. – коэффициент вариации.

[SD – standard deviation;

CV – coefficient of variation.]

было связано с запасом ^{137}Cs , содержавшимся в верхних 6 см почвы. Радиоцезий, мигрировавший в почву на глубину более 10–12 см, давал пренебрежимо малый вклад (менее 1%) в мощность кермы в воздухе. В практическом плане это свидетельствует о том, что глубина пробоотбора почвы, равная 20 см, в настоящее время более чем достаточна для корректной оценки мощности кермы в воздухе на целинных лугах и в лесу.

Отметим, что значения воздушной кермы были вычислены нами для открытой местности и идеально плоского бесконечного источника. В действительности поверхность земли всегда имеет неровности и покрыта растительностью. Оба фактора могут оказывать понижающее воздействие на мощность воздушной кермы или мощность поглощенной дозы гамма-излучения в воздухе (последняя равна мощности кермы при условии электронного равновесия) [16, 30, 31]. Прямое сравнение расчетных и измеренных значений мощности кермы в воздухе над почвой, загрязненной ^{137}Cs в результате Чернобыльской аварии, показало, что в среднем в 2010 г. на лугах, в парках и в лесах Брянской области измеренные значения были примерно на 7% меньше расчетных [23]. Даже с учетом этой возможной поправки, значения мощности поглощенной дозы гамма-излучения в воздухе от ^{137}Cs на обследованных площадках в настоящее время многократно превышают фоновые значения мощности поглощенной дозы в воздухе от природных радионуклидов в почве. В юго-западных районах Брянской области на лугах этот фоновый показатель равен 20 ± 6 нГр/ч, в лесах – 18 ± 5 нГр/ч [9].

Выводы

1. На 13 лесных и 7 луговых целинных площадках, обследованных в юго-западных районах Брянской области спустя 30 лет после Чернобыльской аварии, экспериментально полученные значения запаса ^{137}Cs в верхних 20 см почвы (A_{cs}) находились в диапазоне от 42 до 1940 кБк/м².

2. Значения A_{cs} положительно и статистически значимо коррелировали с официально установленными уровнями поверхностного загрязнения цезием-137 (σ_{cs}) территории близлежащих населенных пунктов. Среднее значение отношения A_{cs}/σ_{cs} равнялось 1,05 при величине стандартного отклонения 0,22 и медиане 1,05.

3. Вертикальная миграция радиоцезия в дерново-подзолистой песчаной и супесчаной почве на обследованных участках, в основном, ограничивалась верхними 10 см, которые в среднем содержали 94% от общего запаса ^{137}Cs , находящегося в 20-сантиметровом слое почвы. Менее 1% общего запаса ^{137}Cs было обнаружено в самом нижнем отобранном слое (глубина 18–20 см). Средняя глубина миграции ^{137}Cs в почве составила 3,7 см в лесах и 4,0 см на лугах. Статистически значимых различий между двумя локациями обнаружено не было ($P > 0,05$).

4. Полученные вертикальные распределения ^{137}Cs в почве были использованы для вычисления мощности кермы в воздухе на высоте 1 м над поверхностью почвы (KR_{cs}). Значения KR_{cs} находились в диапазоне от 52 до 2240 нГр/ч (в среднем – 807 нГр/ч). В среднем около 95% KR_{cs} в лесу и ~90% KR_{cs} на лугу было связано с запасом ^{137}Cs , содержавшимся в верхних 6 см почвы. Радиоцезий, мигрировавший в почву на глубину более 10–12 см, давал пренебрежимо малый вклад (менее 1%) в мощность кермы в воздухе.

5. Глубина пробоотбора почвы, равная 20 см, в настоящее время более чем достаточна для оценки мощности поглощенной дозы гамма-излучения в воздухе в лесах и на целинных лугах.

Литература

1. ICRU – International Commission on Radiation Units and Measurements, 1994. Gamma-Ray Spectrometry in the Environment. ICRU report: 53. Bethesda, Maryland, USA.
2. Arapis, G., Chesnokov, A., Ivanova, T., Potapov, V., Sokolic, G. Evaluation of dose equivalent reduction as a function of vertical migration of ^{137}Cs in contaminated soil. J. Environ. Radioact., 1999, Vol. 46, pp. 251–263.
3. Jacob, P., Meckbach, R. Measurements after the Chernobyl accident in relation to the exposure of an urban population. In: Restoration of Environments Affected by Residues from Radiological Accidents: Approaches to Decision Making. IAEA-TECDOC-1131. International Atomic Energy Agency, Vienna, 2000, pp. 34–41.
4. Bunzl, K., Hillmann, U., Jacob, P., Kretner, R., Schimmack, W., Tikhomirov, F., Scheglov, A., Arkhipov, N.P., Arkhipov, A.N., Alexakhin, R.M., Loschilov, N., Ivanov, Y., Levchuk, S., Kashparov, V., Oreshich, L. Radionuclide mobility in soils and its effect on the external radiation exposure. In: The Radioecological Consequences of the Chernobyl Accident. Proceedings of the First International Conference. Minsk, Belarus, 18 to 22 March 1996. European Commission, EUR 16544EN, 1996, pp. 311–314.
5. Bunzl, K., Schimmack, W., Jacob, P. Uncertainty analysis of the external gamma-dose rate due to the variability of the vertical distribution of ^{137}Cs in the soil. J. Environ. Radioact., 2001, Vol. 54, pp. 243–252.
6. Golikov, V.Yu., Balonov, M.I., Jacob, P. External exposure of the population living in areas of Russia contaminated due to the Chernobyl accident. Radiat. Environ. Biophys., 2002, Vol. 41, No. 3, pp. 185–193.
7. Saito, K., Petoussi-Henss, N. Ambient dose equivalent conversion coefficients for radionuclides exponentially distributed in the ground. J. Nucl. Sci. Technol., 2014, Vol. 51, pp. 1274–1287.
8. 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.
9. Ramzaev, V., Yonehara, H., Hille, R., Barkovsky, A., Mishine, A., Sahoo, S.K., Kurotaki, K., Uchiyama, M. Gamma-dose rates from terrestrial and Chernobyl radionuclides inside and outside settlements in the Bryansk Region, Russia in 1996–2003. J. Environ. Radioact., 2006, Vol. 85, pp. 205–227.
10. Bunzl, K., Schimmack, W., Krouglov, S.V., Alexakhin, R.M. Changes with time in the migration of radiocesium in the soil, as observed near Chernobyl and in Germany, 1986–1994. Sci. Tot. Environ., 1995, Vol. 175, pp. 49–56.
11. Korobova, E., Ermakov, A., Linnik, V. ^{137}Cs and ^{90}Sr mobility in soils and transfer in soil–plant systems in the Novozybkov district affected by the Chernobyl accident. Appl. Geochem., 1998, Vol. 13, No. 7, pp. 803–814.
12. Shand, C.A., Rosén, K., Thored, K., Wendler, R., Hillier, S. Downward migration of radiocaesium in organic soils across a transect in Scotland. J. Environ. Radioact., 2013, Vol. 115, pp. 124–133.
13. Takahashi, J., Tamura, K., Suda, T., Matsumura, R., Onda, Y. Vertical distribution and temporal changes of ^{137}Cs in soil profiles under various land uses after the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant Accident. J. Environ. Radioact., 2015, Vol. 139, pp. 351–361.
14. Eden, M., Felbermeier, B., Mosandl, R., Völkel, J. Vertical distribution of ^{137}Cs in the contaminated soil of a spruce forest in Southern Germany 12 years after regeneration cutting. Forest Ecol. Manag., 2017, Vol. 406, pp. 402–409.

15. Ramzaev, V., Barkovsky, A. Vertical distribution of ^{137}Cs in grassland soils disturbed by moles (*Talpa europaea* L.). J. Environ. Radioact., 2018, Vol. 184–185, pp. 101–108.
16. Ramzaev, V.P., Barkovsky, A.N. Estimation of the air kerma rate from ^{137}Cs and ^{134}Cs deposited on the ground in the Sakhalin region of Russia after the Fukushima accident. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene, 2019, Vol. 12, No. 1, pp. 36–51.
17. Saito, K., Mariuchi, S. Development of a Monte Carlo code for the calculation of gamma ray transport in the natural environment. Radiat. Prot. Dosimetry, 1985, Vol. 12, No. 1, pp. 21–28.
18. Saito, K., Jacob, P. Gamma ray fields in the air due to sources in the ground. Radiat. Prot. Dosimetry, 1995, Vol. 58, pp. 29–45.
19. Timms, D.N., Smith, J.T., Cross, M.A., Kudelsky, A.V., Horton, G., Mortlock, R. A new method to account for the depth distribution of ^{137}Cs in soils in the calculation of external radiation dose-rate. J. Environ. Radioact., 2004, Vol. 72, pp. 323–334.
20. Karadeniz, Ö., Çakır, R., Karakurt, H. Estimation of vertical migration velocity of ^{137}Cs in the Mount İDA/Kazdagi, Turkey. J. Environ. Radioact., 2015, Vol. 146, pp. 27–34.
21. Golikov, V., Balonov, M., Ponomarev, A. Estimation of external gamma radiation doses to the population after the Chernobyl accident. In: Merwin, S.E., Balonov, M.I. (Eds.), Doses to the Soviet Population and Early Health Effects Studies. The Chernobyl Papers, Vol. 1. Research Enterprises, Richland, 1993, pp. 247–288.
22. Roed, J., Andersson, K.G., Barkovsky, A.N., Vorobiev, B.F., Potapov, V.N., Chesnokov, A.V. Triple digging – a simple method for restoration of radioactively contaminated urban soil areas. J. Environ. Radioact., 1999, Vol. 45, pp. 173–183.
23. 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.
24. Fesenko, S.V., Voigt, G., Spiridonov, S.I., Sanzharova, N.I., Gontarenko, I.A., Belli, M., Sansone, U. Analysis of the contribution of forest pathways to the radiation exposure of different population groups in the Bryansk region of Russia. Radiat. Environ. Biophys., 2000, Vol. 39, pp. 291–300.
25. Fesenko, S.V., Voigt, G., Spiridonova, S.I., Gontarenko, I.A. Decision making framework for application of forest countermeasures in the long term after the Chernobyl accident. J. Environ. Radioact., 2005, Vol. 82, pp. 143–166.
26. Ramzaev, V., Repin, V., Medvedev, A., Khramtsov, E., Timofeeva, M., Yakovlev, V. Radiological investigations at the “Taiga” nuclear explosion site, part II: man-made γ -ray emitting radionuclides in the ground and the resultant kerma rate in air. J. Environ. Radioact., 2012, Vol. 109, pp. 1–12.
27. 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.
28. Брук, Г.Я. Средние годовые эффективные дозы облучения в 2014 году жителей населенных пунктов Российской Федерации, отнесенных к зонам радиоактивного загрязнения вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС (для целей зонирования населенных пунктов) // Г.Я. Брук, А.Б. Базюкин, А.А. Братилова, А.Ю. Власов, Ю.Н. Гончарова, А.В. Громов, Т.В. Жеско, М.В. Кадука, О.С. Кравцова, И.К. Романович, К.А. Сапрыкин, В.С. Степанов, Н.В. Титов, И.Г. Травникова, О.Е. Тутельян, В.А. Яковлев // Радиационная гигиена. – 2015. – Т. 8, № 2. – С. 32–128.
29. Roed, J., Andersson, K.G., Barkovsky, A.N., Fogh, C.L., Mishine, A.S., Olsen, S., Ponomarev, A.V., Prip, H., Ramzaev, V.P., Vorobiev, B.F. Mechanical Decontamination Tests in Areas Affected by the Chernobyl Accident. RISØ National Laboratory report Risø-R-1029 (EN). RISØ National Laboratory, Roskilde, Denmark, 1998.
30. Laedermann, J.-P., Byrde, F., Murith, C. In-situ gamma-ray spectrometry: the influence of topography on the accuracy of activity determination. J. Environ. Radioact., 1998, Vol. 38, pp. 1–16.
31. Gering, F., Kiefer, P., Fesenko, S., Voigt, G. In situ gamma-ray spectrometry in forests: determination of kerma rate in air from ^{137}Cs . J. Environ. Radioact., 2002, Vol. 61, pp. 75–89.

Поступила: 28.05.2019 г.

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

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

Для цитирования: Рамзаев В.П., Барковский А.Н., Варфоломеева К.В. Вертикальное распределение ^{137}Cs в дерново-подзолистой песчаной почве на лугах и в лесах Брянской области в 2015–2016 гг. // Радиационная гигиена. – 2019. – Т. 12, № 3. – С. 27–41. DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-3-27-41

Vertical distribution of ^{137}Cs in soddy-podzolic sandy soil in grasslands and forests of the Bryansk region in 2015–2016

Valery P. Ramzaev, Anatoly N. Barkovsky, Kseniya V. Varfolomeeva

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

Vertical distribution of natural and man-made radionuclides in the soil profile is a decisive parameter when calculating the dose rate of gamma radiation in the air above the ground and the effective dose of external human exposure. The main purpose of this work was to determine vertical distribution of ^{137}Cs in soddy-podzolic sandy and sandy-loam soils in forests and grasslands in the south-western districts of the Bryansk region in the remote period after the Chernobyl accident. In 2015–2016, soil cores were sampled in 7 virgin meadows and 13 forested areas to a depth of 20 cm. The cores were cut into horizontal layers 2 cm thick. The ^{137}Cs activity in the samples was determined using a semiconductor gamma spectrometer. The activity concentration in samples of dry soil ($n = 200$) ranged from 6.35 Bq/kg to 83300 Bq/kg with an average of 4550 Bq/kg. In the meadows in three cases, the maximum activity concentration was determined in the uppermost layer. With increasing depth, the activity concentration decreased and reached a minimum in the deepest layers. A difference between the surface layer and the deepest layer was two to three orders of magnitude. The three other meadows showed a relatively uniform distribution of ^{137}Cs in the upper 4–6 cm, followed by a decrease in activity concentration with an increase in depth. In one meadow area, a peak of the ^{137}Cs activity was found at a depth of 4–6 cm. In the forest, the most typical (in 10 cases) was the presence of a pronounced maximum activity concentration of ^{137}Cs in the uppermost layer. The experimentally obtained values of the ^{137}Cs inventory in the upper 20 cm of soil at the surveyed sites ranged from 42 to 1940 kBq/m². The values of ^{137}Cs inventory positively and statistically significantly correlated with officially established levels of ^{137}Cs surface ground contamination for the territory of nearby settlements. Vertical migration of ^{137}Cs in the soil in the surveyed areas was mainly limited to the upper 10 centimeters. The layer on average contained 94% of the total ^{137}Cs inventory. Less than 1% of the total ^{137}Cs inventory was found in the deepest soil layer sampled (18–20 cm). The obtained ^{137}Cs activity distributions were used to calculate kerma rate in the air at a height of 1 m above the ground at the surveyed sites. The air kerma rate ranged from 52 to 2240 nGy/h (on average, 807 nGy/h). The caesium-137 deposit in the upper 6 cm of soil determined about 95% and 90% of the air kerma rate in the forests and in meadows, respectively. Radioactive caesium, which migrated into the soil to a depth of more than 10–12 cm, gave a negligible contribution (less than 1%) to the gamma-radiation dose rate in the air. In practical terms, it indicates that the depth of soil sampling equal to 20 cm is currently quite sufficient to estimate the dose rate of gamma radiation in the air in virgin grasslands and in forests.

Key words: Chernobyl accident, grassland, forest, soil, ^{137}Cs , vertical distribution, air kerma rate.

References

1. ICRU – International Commission on Radiation Units and Measurements, 1994. Gamma-Ray Spectrometry in the Environment. ICRU report: 53. Bethesda, Maryland, USA.
2. Arapis, G., Chesnokov, A., Ivanova, T., Potapov, V., Sokolic, G. Evaluation of dose equivalent reduction as a function of vertical migration of ^{137}Cs in contaminated soil. J. Environ. Radioact., 1999, Vol. 46, pp. 251–263.
3. Jacob, P., Meckbach, R. Measurements after the Chernobyl accident in relation to the exposure of an urban population. In: Restoration of Environments Affected by Residues from Radiological Accidents: Approaches to Decision Making. IAEA-TECDOC-1131. International Atomic Energy Agency, Vienna, 2000, pp. 34–41.
4. Bunzl, K., Hillmann, U., Jacob, P., Kretner, R., Schimmack, W., Tikhomirov, F., Scheglov, A., Arkhipov, N.P., Arkhipov, A.N., Alexakhin, R.M., Kruglov, S.F., Loschilov, N., Ivanov, Y., Levchuk, S., Kashparov, V., Oreshich, L. Radionuclide mobility in soils and its effect on the external radiation exposure. In: The Radioecological Consequences of the Chernobyl Accident. Proceedings of the First International Conference. Minsk, Belarus, 18 to 22 March 1996. European Commission, EUR 16544EN, 1996, pp. 311–314.
5. Bunzl, K., Schimmack, W., Jacob, P. Uncertainty analysis of the external gamma-dose rate due to the variability of the vertical distribution of ^{137}Cs in the soil. J. Environ. Radioact., 2001, Vol. 54, pp. 243–252.
6. Golikov, V.Yu., Balonov, M.I., Jacob, P. External exposure of the population living in areas of Russia contaminated due to the Chernobyl accident. Radiat. Environ. Biophys., 2002, Vol. 41, No. 3, pp. 185–193.
7. Saito, K., Petoussi-Henss, N. Ambient dose equivalent conversion coefficients for radionuclides exponentially distributed in the ground. J. Nucl. Sci. Technol., 2014, Vol. 51, pp. 1274–1287.
8. 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.
9. Ramzaev, V., Yonehara, H., Hille, R., Barkovsky, A., Mishine, A., Sahoo, S.K., Kurotaki, K., Uchiyama, M. Gamma-dose rates from terrestrial and Chernobyl radionuclides inside and outside settlements in the Bryansk Region, Russia in 1996–2003. J. Environ. Radioact., 2006, Vol. 85, pp. 205–227.
10. Bunzl, K., Schimmack, W., Kruglov, S.V., Alexakhin, R.M. Changes with time in the migration of radiocesium in the soil,

Valery P. Ramzaev

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

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

- as observed near Chernobyl and in Germany, 1986–1994. Sci. Tot. Environ., 1995, Vol. 175, pp. 49–56.
11. Korobova, E., Ermakov, A., Linnik, V. ^{137}Cs and ^{90}Sr mobility in soils and transfer in soil–plant systems in the Novozybkov district affected by the Chernobyl accident. Appl. Geochem., 1998, Vol. 13, No. 7, pp. 803–814.
 12. Shand, C.A., Rosén, K., Thored, K., Wendler, R., Hillier, S. Downward migration of radiocaesium in organic soils across a transect in Scotland. J. Environ. Radioact., 2013, Vol. 115, pp. 124–133.
 13. Takahashi, J., Tamura, K., Suda, T., Matsumura, R., Onda, Y. Vertical distribution and temporal changes of ^{137}Cs in soil profiles under various land uses after the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant Accident. J. Environ. Radioact., 2015, Vol. 139, pp. 351–361.
 14. Eden, M., Felbermeier, B., Mosandl, R., Völkel, J. Vertical distribution of ^{137}Cs in the contaminated soil of a spruce forest in Southern Germany 12 years after regeneration cutting. Forest Ecol. Manag., 2017, Vol. 406, pp. 402–409.
 15. Ramzaev, V., Barkovsky, A. Vertical distribution of ^{137}Cs in grassland soils disturbed by moles (*Talpa europaea* L.). J. Environ. Radioact., 2018, Vol. 184–185, pp. 101–108.
 16. Ramzaev, V.P., Barkovsky, A.N. Estimation of the air kerma rate from ^{137}Cs and ^{134}Cs deposited on the ground in the Sakhalin region of Russia after the Fukushima accident. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene, 2019, Vol. 12, No. 1, pp. 36–51.
 17. Saito, K., Mariuchi, S. Development of a Monte Carlo code for the calculation of gamma ray transport in the natural environment. Radiat. Prot. Dosimetry, 1985, Vol. 12, No. 1, pp. 21–28.
 18. Saito, K., Jacob, P. Gamma ray fields in the air due to sources in the ground. Radiat. Prot. Dosimetry, 1995, Vol. 58, pp. 29–45.
 19. Timms, D.N., Smith, J.T., Cross, M.A., Kudelsky, A.V., Horton, G., Mortlock, R. A new method to account for the depth distribution of ^{137}Cs in soils in the calculation of external radiation dose-rate. J. Environ. Radioact., 2004, Vol. 72, pp. 323–334.
 20. Karadeniz, Ö., Çakır, R., Karakurt, H. Estimation of vertical migration velocity of ^{137}Cs in the Mount İDA/Kazdagi, Turkey. J. Environ. Radioact., 2015, Vol. 146, pp. 27–34.
 21. Golikov, V., Balonov, M., Ponomarev, A. Estimation of external gamma radiation doses to the population after the Chernobyl accident. In: Merwin, S.E., Balonov, M.I. (Eds.), Doses to the Soviet Population and Early Health Effects Studies. The Chernobyl Papers, Vol. 1. Research Enterprises, Richland, 1993, pp. 247–288.
 22. Roed, J., Andersson, K.G., Barkovsky, A.N., Vorobiev, B.F., Potapov, V.N., Chesnokov, A.V. Triple digging – a simple method for restoration of radioactively contaminated urban soil areas. J. Environ. Radioact., 1999, Vol. 45, pp. 173–183.
 23. Ramzaev V.P., Golikov V.Yu. A comparison of measured and calculated values of air kerma rates from ^{137}Cs in soil. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene, 2015, Vol. 8, No. 4, pp. 42–51. (In Russian).
 24. Fesenko, S.V., Voigt, G., Spiridonov, S.I., Sanzharova, N.I., Gontarenko, I.A., Belli, M., Sansone, U. Analysis of the contribution of forest pathways to the radiation exposure of different population groups in the Bryansk region of Russia. Radiat. Environ. Biophys., 2000, Vol. 39, pp. 291–300.
 25. Fesenko, S.V., Voigt, G., Spiridonova, S.I., Gontarenko, I.A. Decision making framework for application of forest countermeasures in the long term after the Chernobyl accident. J. Environ. Radioact., 2005, Vol. 82, pp. 143–166.
 26. Ramzaev, V., Repin, V., Medvedev, A., Khramtsov, E., Timofeeva, M., Yakovlev, V. Radiological investigations at the “Taiga” nuclear explosion site, part II: man-made γ -ray emitting radionuclides in the ground and the resultant kerma rate in air. J. Environ. Radioact., 2012, Vol. 109, pp. 1–12.
 27. 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.
 28. Bruk G.Ya., Bazyukin A.B., Bratilova A.A., Vlasov A.Yu., Goncharova Yu.N., Gromov A.V., Zhesko T.V., Kaduka M.V., Kravtsova O.S., Romanovich I.K., Saprykin K.A., Stepanov V.S., Titov N.V., Travnikova I.G., Tutelyan O.E., Yakovlev V.A. The average annual effective doses for the population in the settlements of the Russian Federation attributed to zones of radioactive contamination due to the Chernobyl accident (for zonation purposes), 2014. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene, 2015, Vol. 8, No. 2, pp. 32–128. (In Russian).
 29. Roed, J., Andersson, K.G., Barkovsky, A.N., Fogh, C.L., Mishine, A.S., Olsen, S., Ponomarev, A.V., Prip, H., Ramzaev, V.P., Vorobiev, B.F. Mechanical Decontamination Tests in Areas Affected by the Chernobyl Accident. RIS National Laboratory report Risø-R-1029 (EN). RISØ National Laboratory, Roskilde, Denmark, 1998.
 30. Laedermann, J.-P., Byrde, F., Murith, C. *In-situ* gamma-ray spectrometry: the influence of topography on the accuracy of activity determination. J. Environ. Radioact., 1998, Vol. 38, pp. 1–16.
 31. Gering, F., Kiefer, P., Fesenko, S., Voigt, G. In situ gamma-ray spectrometry in forests: determination of kerma rate in air from ^{137}Cs . J. Environ. Radioact., 2002, Vol. 61, pp. 75–89.

Received: May 28, 2019

For correspondence: 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 (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.

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

For citation: Ramzaev V.P., Barkovsky A.N., Varfolomeeva K.V. Vertical distribution of ^{137}Cs in soddy-podzolic sandy soil in grasslands and forests of the Bryansk region in 2015–2016. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene, 2019, Vol. 12, No. 3, pp. 27–41. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-3-27-41

Тритий в моче у жителей города Озерска Челябинской области в 2016 г.

Л.В. Финашов, В.В. Востротин, А.Ю. Янов

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

Цели. Создать модель зависимости объёмной активности трития в моче жителей города Озерска от физических и биологических факторов. Определить соответствие доз внутреннего облучения населения города Озерска от трития нормам и требованиям к обеспечению радиационной безопасности в современных условиях. В рамках поставленных целей решались следующие задачи: проведение измерений объёмной активности трития в моче; выявление основных факторов, влияющих на объёмную активность трития в моче; оценка распределения ожидаемых эффективных доз внутреннего облучения, обусловленных поступлением трития в 2016 г. у населения г. Озерска в условиях стабильной радиационной обстановки. Материалы и методы. В 2016 г. взято 30 проб мочи жителей города Озерска Челябинской области, не работающих на производственном объединении «Маяк». Измерение объёмной активности трития в моче проводилось с помощью современного ультранизкофонного бета-спектрометра Quantulus-1220. Была составлена анкета, позволившая собрать индивидуальные данные о питьевом поведении, профессиональной деятельности, условиях проживания обследуемых людей. Статистическая обработка была проведена с помощью программного обеспечения Excel-2013 и R. Для построения моделей зависимости объёмной активности трития в моче жителей от непрерывных и/или категориальных переменных использовались корреляционный и регрессионный методы анализа. Для сравнения двух выборок по среднему значению объёмной активности трития использовался t-критерий Стьюдента. Для проверки нормальности распределения доз использовался критерий Шапиро – Уилка. Результаты. Объёмная активность трития в моче взрослых жителей города Озерска в 2016 г. была в среднем на уровне $18,5 \pm 1,1$ Бк/дм³, а объёмная активность трития в моче детей – в среднем на уровне $12,6 \pm 2,3$ Бк/дм³. Основные статистические характеристики оценок ожидаемой эффективной дозы от трития населения г. Озерск, обусловленные поступлением в 2016 г. в условиях стабильной радиационной обстановки, полученные на выборке 30 человек, были следующие: минимальное значение 0,07 мкЗв, среднее значение 0,27 мкЗв, коэффициент вариации 36%, максимальное значение 0,49 мкЗв. Получена модель зависимости уровней объёмной активности трития в моче жителей города Озерска от источника водоснабжения. Выводы. Оценки ожидаемой эффективной дозы внутреннего облучения тритием населения г. Озерска, обусловленные поступлением в 2016 г., составляли: среднее значение ожидаемой эффективной дозы 0,027%, а максимальное значение – 0,05% от предела годовой эффективной дозы для населения в условиях монофакторного поступления трития. В 2016 г. уровни объёмной активности трития в организме взрослого и детского населения города Озерска в большей степени зависели от объёмной активности трития в источниках питьевого водоснабжения, а не от возраста. По состоянию на 2016 г., в условиях стабильной радиационной обстановки на производственном объединении «Маяк» тритий не представлял угрозы для населения города Озерска.

Ключевые слова: тритий, внутреннее облучение, объёмная активность, население, ожидаемая эффективная доза, радиационная безопасность, производственное объединение «Маяк».

Введение

Одним из инструментов обеспечения радиационной безопасности населения является регулярный мониторинг радиационной обстановки вблизи предприятий атомной промышленности и ядерной энергетики.

По результатам мониторинга, представленного в отчётах НПО «Тайфун» Росгидромета [1–7], производственное объединение «Маяк» (ПО «Маяк») входит в группу предприятий ГК «Росатом» с максимальными выбросами трития в воздушную сферу и сбросами трития в гидро-

Финашов Леонид Викторович

Южно-Уральский институт биофизики

Адрес для переписки: 456780, Россия, Челябинская область, г. Озёрск, Озёрское шоссе, д. 19; E-mail: finashov@subi.su

сферу. Данный факт обусловлен наличием в составе ПО «Маяк» радиохимического производства по регенерации отработанного ядерного топлива с различных атомных электростанций и энергетических установок, действовавших промышленных реакторов, в том числе тяжеловодных и тритиевого производства.

В 2014–2017 гг. мощность выброса трития ПО «Маяк» в воздух была стабильна и находилась на уровне ~ 1200 ТБк/год, при этом по регламенту она составляла 17 600 ТБк/год. Таким образом, мощность выбросов трития была меньше регламентированной на порядок величины [1–4]. В течение 2007–2009 гг. мощность сбросов трития в гидросферу была в среднем на уровне ~17 ТБк/год [5–7]. Регламента мощности сбросов трития в гидросферу для ПО «Маяк» не установлено.

На 63-й сессии Научного комитета по действию атомной радиации Организации Объединённых Наций (НКДАР ООН) в документе R.715 «Биологические эффекты облучения от отдельных инкорпорированных радионуклидов» предложен подход к мониторингу трития в объектах окружающей среды вблизи предприятий, производящих выбросы и сбросы, а также мониторинг трития у отдельных индивидуумов, проживающих на этих территориях. Помимо этого, указана необходимость определять уровни трития на территориях, удаленных от таких предприятий. Проведенные исследования показывают зависимость содержания трития в природных объектах [8–12] и мощности эквивалентной дозы (на всё тело) внутреннего облучения у населения [13] от расстояния до источника выбросов и сбросов трития. В документе R.715 «Биологические эффекты облучения от отдельных инкорпорированных радионуклидов», рассмотренном на 63-й сессии НКДАР ООН, отмечены проблемы, связанные с надежностью эпидемиологических исследований, которые обусловлены недостаточной статистической мощностью и отсутствием информации о дозах облучения от трития [14]. Исходя из вышеизложенного следует, что регулярный мониторинг уровней трития вблизи предприятий атомной промышленности и ядерной энергетики является актуальной задачей обеспечения радиационной безопасности населения.

Цель исследования – создание модели зависимости объёмной активности (ОА) трития в моче жителей г. Озерска от физических и биологических факторов и определение соответствия доз внутреннего облучения населения от трития нормам и требованиям к обеспечению радиационной безопасности в современных условиях.

Задачи исследования

1. Проведение измерений ОА трития в моче отдельных лиц из населения г. Озерска Челябинской области.
2. Выявление основных факторов, влияющих на ОА трития в моче жителей г. Озерска Челябинской области.
3. Оценка распределения ожидаемых эффективных доз (ОЭД) внутреннего облучения, обусловленных поступлением трития в 2016 г. у населения г. Озерска в условиях стабильной радиационной обстановки.

Материалы и методы

В исследовании приняли участие 30 жителей г. Озерска Челябинской области, из них 22 взрослых, в

возрасте от 27 до 75 лет, профессионально не связанных с ПО «Маяк», и 8 детей в возрасте от 6 до 15 лет. Каждым участником исследования или его официальным представителем было подписано информированное согласие на участие в проводимом исследовании, а также согласие на обработку персональных данных. Для измерения объёмной активности трития в моче были однократно отобраны утренние порции мочи в индивидуальные стерильные полипропиленовые контейнеры с закручивающейся крышкой вместимостью 120 мл.

Измерения ОА трития в моче были проведены в соответствии с методикой измерений (МИ) (Методика выполнения измерения объёмной активности трития в пробах воды и мочи с использованием жидко-сцинтилляционного спектрометра Quantulus-1220; ФГУП «Южно-Уральский институт биофизики». – Озерск, 2016.), свидетельство об аттестации МИ № 222.0032/RA.RU.311866/2019 [Methods for measuring the volume activity of tritium in water and urine samples using a Quantulus-1220 liquid scintillation spectrometer; Federal State Unitary Enterprise South Ural Institute of Biophysics. Ozersk, 2016.), certificate of certification No. 222.0032 / RA.RU.311866 / 2019 (In Russ.)]. В соответствии с МИ предел обнаружения ОА трития в моче был равен 8 Бк/дм³. Эффективности регистрации спектрометром β -излучения трития $\epsilon_j = 0,27$ Бк⁻¹·с⁻¹. Среднее арифметическое значение скорости счета фона спектрометра $\bar{n}_\phi = 2,8$ мин⁻¹ (срм). Относительная погрешность при $P=0,95$ в зависимости от уровня ОА составляла: от 8 до 50 Бк/дм³ – 40%, от 50 до 200 Бк/дм³ – 18%, от 200 до 1,2·10⁷ Бк/дм³ – 11%. Пробоподготовка образцов мочи заключалась в проведении дистилляции при температуре 97–99 °С. После охлаждения полученного дистиллята он смешивался со сцинтиллятором Optiphase Hisafe 3 в пластиковой вials в пропорции 8 мл : 12 мл. Измерение ОА трития проводилось в течение 6 ч с помощью ультранизкофонов жидкостно-сцинтилляционного спектрометра Quantulus-1220. Перед измерением образцы охлаждались не менее 12 ч в корпусе Quantulus-1220 с заданной температурой 18°С.

Для сбора данных о возможных факторах, предположительно влияющих на уровни ОА трития в моче людей, было проведено анкетирование. Анкета включала в себя следующие вопросы: пол, возраст, место работы (учёбы), адрес постоянного места жительства, источник питьевого водоснабжения. В качестве категорий источников питьевого водоснабжения были выбраны: только «вода водопроводная» и «вода водопроводная с дополнительными иными источниками» (вода бутилированная и пр.).

Для расчёта расстояния от ПО «Маяк» до места работы (учёбы) и постоянного места жительства участников исследования была использована точка отсчёта – широта 55,688°, долгота 60,762° (wikimapia.org/#lang=ru&lat=55.688&lon=60.762&z=13&m=w&show=/8566136/ru/ФГУП-ПО-«Маяк»). Диапазон расстояний от ПО «Маяк» до места работ (учёбы) и постоянного местожительства участников исследования был от 5,7 до 9,5 км.

Статистическая обработка данных проводилась с помощью программного обеспечения Excel-2013 и программы статистического анализа R версии 3.3.3 («Another Sapoe»). Для построения корреляционных матриц с ошибками I рода использовалась библиотека «Hmisc». Для построения модели зависимости ОА трития в моче

населения от физических и биологических факторов использовался регрессионный метод анализа. При этом для учёта точности результатов измерения использовали вес, обратно пропорциональный квадрату их абсолютной погрешности при $P=0,68$. Для сравнения двух выборок по среднему значению ОА использовался t-критерий Стьюдента. Для проверки нормальности распределения доз использовался критерий Шапиро – Уилка.

Результаты и обсуждение

По результатам корреляционного анализа были выявлены два фактора, статистически значимо влияющие на уровень ОА трития в моче жителей г. Озерска: воз-

раст и источник питьевого водоснабжения. Остальные факторы: пол, расстояния от ПО «Маяк» до места работы (учёбы) и постоянного места жительства, не оказывали статистически значимого влияния.

Из анализа результатов измерения ОА трития в моче жителей г. Озерска, профессионально не связанных с ПО «Маяк», и детей было установлено, что уровень ОА трития в моче взрослого населения в 2016 г. был в среднем выше, чем в моче детей ($t=2,3$, $p=0,044$) (табл. 1).

Проведенный линейный регрессионный анализ (рис. 1) показал статистически значимую слабую связь ($R = 0,34$; $p=0,038$) между возрастом и ОА трития в моче населения г. Озерска, выраженную в виде:

Таблица 1

Результаты измерения ОА трития в моче жителей г. Озерска, проведённого в 2016 г.

[Table 1]

Results of measurement of tritium volume activity in urine of the Ozyorsk residents, 2016]

Обследованный контингент [Population under study]	Число обследованных [Number of individuals under study]	Средняя ОА трития в моче, Бк/дм ³ (± стандартная ошибка среднего) [Mean tritium volume activity in urine, Bq/dm ³ (± standard error of the mean)]
Дети (6–15 лет) [Children (6–15 years)]	8	12,6 ± 2,3
Взрослые (27–75 лет) [Adult (27–75 years)]	22	18,5 ± 1,1

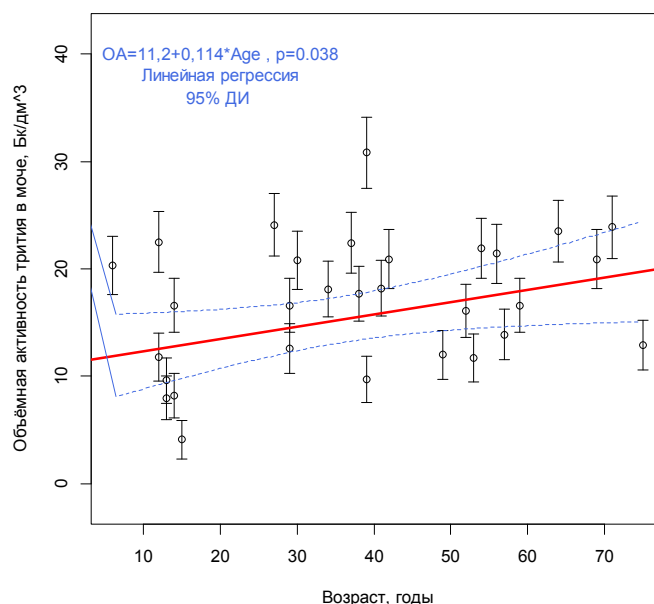


Рис. 1. Результаты линейного регрессионного анализа зависимости ОА трития в моче населения города Озерска в 2016 г. от возраста. Представлена линия линейной регрессии с 95% доверительным интервалом (ДИ).

Усы на точках соответствуют абсолютным погрешностям результатов измерения ОА трития в моче при $P=0,68$

[Fig. 1. Results of linear regression analysis of dependence of volume activity of tritium in urine of Ozyorsk residents in 2016 from age.

Note: a linear regression line is presented with a 95 confidence interval (CI). Error bars at the points refer to absolute bias of results of tritium volume activity measurement in urine at $P=0.68$]

OA = (11,2 ± 2,2) + (0,114±0,052) · Age, Бк/дм³, где: Age – возраст в годах [age in years]. Единственный результат измерения ОА трития в моче, оказавшийся ниже предела обнаружения, обрабатывался как предварительный согласно Гост Р 572016-2016 (Национальный Стандарт Российской Федерации. Радиационный контроль. Представление Результатов Измерения.) [GOST R 572016-2016. National Standard of the Russian Federation. Radiation control. Presentation of Measurement Results (In Russian)].

При включении в анализ зависимости ОА трития в моче обоих факторов: возраста и источника водоснабжения (ИБ), по категориям – только водопроводная вода (ИБ=1) или другие источники (ИБ=2), была построена следующая модель:

$$OA = \begin{cases} a_1, & \text{если ИБ} = 1 \\ a_2, & \text{если ИБ} = 2 \end{cases} + b \cdot Age, \text{ Бк/дм}^3 \quad (1)$$

Численные значения параметров модели зависимости ОА трития в моче населения г. Озерска от возраста и источника водоснабжения приведены в таблице 2.

Из таблицы 2 следует, что возраст при учёте источника водоснабжения не оказывал статистически значимого влияния на ОА трития в моче населения г. Озерска (p=0,94). После исключения из модели фактора возраста оставшиеся два параметра модели были уточнены. Модель зависимости ОА трития в моче населения города Озерска была изменена соответственно:

$$OA = \begin{cases} a_1, & \text{если ИБ} = 1 \\ a_2, & \text{если ИБ} = 2 \end{cases}, \text{ Бк/дм}^3 \quad (2)$$

Численные значения параметров модели зависимости ОА трития в моче населения г. Озерска от источника водоснабжения приведены в таблице 3.

Из таблицы 3 следует, что стандартные ошибки двух параметров модели уменьшились. В особенности уменьшилась стандартная ошибка (в ~ 2,5 раза) параметра α_1 , соответствующего источнику водоснабжения «только вода водопроводная».

Более высокие уровни ОА трития в моче наблюдались у людей, использующих для пищевых нужд только воду из основного источника водоснабжения г. Озерска – озера Иртяш. Из анкет было выяснено, что дети для пищевых нужд использовали в основном привозную бутилированную воду. Распределение выборки по возрасту и источникам водоснабжения, представленное в таблице 4, объясняет более низкий уровень ОА трития в моче у детей в сравнении со взрослым населением, а также выявленную линейную зависимость ОА трития от возраста (см. рис. 1).

Сопоставимые уровни ОА трития в моче людей и уровни ОА трития в питьевой воде были выявлены также и в аналогичных исследованиях, проведённых в зоне действия Белоярской атомной станции [15].

Таблица 2

Численные значения параметров модели зависимости ОА трития в моче населения г. Озерска от возраста и источника водоснабжения

[Table 2]

Numerical values of parameters of the model of dependence of tritium volume activity in urine of Ozyorsk residents from age and water supply source]

Параметр модели [Model parameters]	Размерность [Unit of measurement]	Значение [Value]	Стандартная ошибка [Standard error]	p
b	(Бк/дм³)/год (Bq/dm³)/year	3,9e-3	5,5e-2	0,94
α_1	Бк/дм³ Bq/dm³	17,9	2,7	4,3e-7
α_2	Бк/дм³ Bq/dm³	10,0	1,9	1,3e-5

Таблица 3

Численные значения параметров модели зависимости ОА трития в моче населения г. Озерска от источника водоснабжения

[Table 3]

Numerical values of parameters of the model of dependence of tritium volume activity in urine of Ozyorsk residents from water supply source]

Параметр модели [Model parameters]	Размерность [Unit of measurement]	Значение [Value]	Стандартная ошибка [Standard error]	p
α_1	Бк/дм³	18,1	1,1	4,5e-16
α_2	Бк/дм³	10,1	1,5	2,5e-7

Таблица 4
Распределение детей и взрослых по источникам водоснабжения

[Table 4]
Distribution of adults and children by water supply sources

Обследованный контингент [Population under study]	ИБ=1, «только вода водопроводная» [Water supply=1 city water only]	ИБ=2, «другие источники, в том числе смешанные» [Water supply=2, other sources included combined]
Дети (6–15 лет) [Children (6–15 years)]	3	5
Взрослые (27–75 лет) [Adults (27–75 years)]	19	3

Анализ измерений показал, что в воде озера Иртяш, являющегося основным источником водоснабжения (ИБ=1, «только вода водопроводная») населения г. Озерска, ОА трития с 2014 г. по 2018 г. изменялась в пределах 25–35 Бк/дм³, что на 2 порядка ниже уровня вмешательства, равного, согласно Нормам радиационной безопасности (НРБ 99/2009): (СанПиН 2.6.1.2523 – 09) [SanPiN 2.6.1.2523-09. *Normy radiatsionnoy bezopasnosti (NRB-99/2009): Sanitarno-epidemiologicheskie pravila i normativy* [Radiation Safety Standards (NRB-99/2009). Sanitary-Epidemiological Rules and Norms]. Moscow, Federal Center of Hygiene and Epidemiology Publ., 2009, 100 p. (In Russ.)], 7600 Бк/дм³ (при плотности воды 1 кг/дм³). В бутилированной воде различных производителей, которые были отмечены в анкетах населения г. Озерска, ОА трития была менее 8 Бк/дм³. Более низкий уровень ОА трития в моче группы жителей г. Озерска, использующих «только воду водопроводную» в сравнении с уровнем ОА трития в воде озера Иртяш (18 Бк/дм³ против 30 Бк/дм³) может быть объяснена дополнительным поступлением в организм жителей пищи

из продуктов, произведённых в зоне отсутствия влияния ПО «Маяк». Ориентировочная зона влияния ПО «Маяк» на окружающую среду в 2016 г. составляла ~30 км [10].

Современные Нормы радиационной безопасности (НРБ 99/2009): (СанПиН 2.6.1.2523 – 09) [Radiation Safety Standards (NRB-99/2009). Sanitary-Epidemiological Rules and Norms. Moscow, Federal Center of Hygiene and Epidemiology Publ., 2009, 100 p. (In Russian)] устанавливают основные пределы доз, допустимые уровни воздействия ионизирующего излучения по ограничению облучения населения. Для индивидуальной оценки ОЭД от трития, обусловленных поступлением в 2016 г. в условиях стабильной радиационной обстановки на ПО «Маяк», использовалось соотношение:

$$E(70) = OA \times K_{OA \rightarrow E}, \text{ мкЗв (3)}$$

где: ОА – объёмная активность трития в моче, $K_{OA \rightarrow E}$ – коэффициент перехода от объёмной активности к ОЭД, [Where: VA is volume activity of tritium in urine, Bq/dm³ [$K_{VA \rightarrow E}$ – coefficient of transportation from volume activity to committed effective dose equivalent (CEDE), $\mu\text{Sv (Bq/dm}^3\text{)}$].

Для различных возрастных групп населения были применены следующие коэффициенты: 0,016 мкЗв/(Бк/дм³) для взрослых и подростков от 12 до 17 лет и 0,015 мкЗв/(Бк/дм³) для детей от 7 до 12 лет (Методические указания по методам контроля ФМБА России МУК 2.6.1.XXX-20XX. Методика выполнения расчетов доз облучения населения, проживающего в зоне влияния предприятия по утилизации ядерных боеприпасов. М., 2013. 26 с.) [Guidelines for control methods FMBA Russia 2.6.1.XXX-20XX. Methods for performing calculations of doses of irradiation of population living in the area of influence of the enterprise for utilization of nuclear ammunition. Moscow, 2013, 26 p. (In Russian)].

Гистограмма распределения и оценка плотности вероятности распределения жителей г. Озерска по оценкам ОЭД внутреннего облучения от трития, обусловленных поступлением в 2016 г., рассчитаны по методу KDE (Kernel Density Estimation) [16], показаны на рисунке 2.

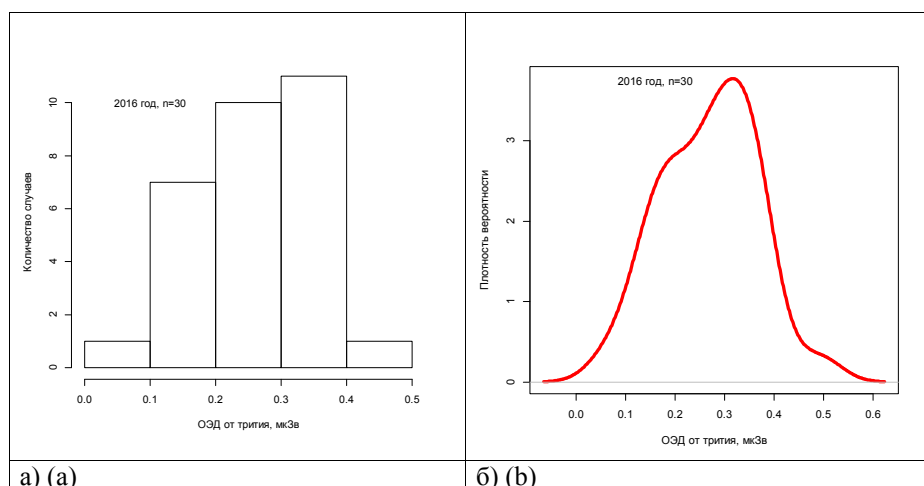


Рис. 2. Гистограмма распределения (а) и оценка плотности вероятности распределения жителей (б) г. Озерска по оценкам ОЭД внутреннего облучения от трития, обусловленных поступлением в 2016 г.: а) ось X – ожидаемая эффективная доза от трития (мкЗв); ось Y – количество случаев; б) – ось X – ожидаемая эффективная доза от трития (мкЗв); ось Y – плотность вероятности
[Fig. 2. Distribution histogram (a) and estimation of the probability density of the distribution of residents (b) of the city of Ozersk, according to the CEDE estimates of internal irradiation from tritium due to admission in 2016

Note (a): X – axis is committed effective dose equivalent from tritium (μSv); Y – axis is number of cases
Note (b): X – axis is committed effective dose equivalent from tritium (μSv); Y – axis is probability density]

Колоколообразный вид распределения указывал на вероятное отсутствие статистически значимого различия между найденным распределением и нормальным распределением, что было подтверждено с помощью теста (критерия) Шапиро – Уилка ($W=0,97$, $p=0,61$).

Основные статистические характеристики оценок годовых ОЭД от трития населения г. Озерска, обусловленные поступлением в 2016 г. в условиях стабильной радиационной обстановки, полученные на выборке 30 человек, были следующие: минимальное значение 0,07 мкЗв, среднее значение 0,27 мкЗв, коэффициент вариации 36%, максимальное значение 0,49 мкЗв. Таким образом, среднее значение ОЭД составляло 0,027%, а максимальное значение – 0,05% от предела годовой эффективной дозы для населения в условиях монофакторного поступления трития, равного 1 мЗв, согласно современным нормам радиационной безопасности (НРБ 99/2009): (СанПиН 2.6.1.2523 – 09) [Radiation Safety Standards (NRB-99/2009). Sanitary-Epidemiological Rules and Norms. Moscow, Federal Center of Hygiene and Epidemiology Publ., 2009, 100 p. (In Russ.)].

Заключение

В 2016 г. уровни ОА трития у взрослого и детского населения в большей степени зависели от ОА трития в источниках питьевого водоснабжения, а не от возраста.

Распределение жителей г. Озерска по оценкам ОЭД внутреннего облучения тритием, обусловленного поступлением в 2016 г., статистически значимо не отличалось от нормального закона распределения. Оценки ОЭД внутреннего облучения тритием населения г. Озерска, обусловленные поступлением в 2016 г., составляли: среднее значение ОЭД 0,027%, а максимальное значение – 0,05% от предела годовой эффективной дозы для населения в условиях монофакторного поступления трития.

По состоянию на 2016 г. в условиях стабильной радиационной обстановки на ПО «Маяк» тритий не представлял опасности для населения г. Озерска.

Финансирование

Работа выполнена в рамках Государственного Контракта №17734521419170000340/11.311.17.10 от 14 июня 2017 г. «Анализ радиационного риска и медико-дозиметрическое сопровождение при работе с соединениями трития» шифр «Элемент-17», финансируемого ФМБА России.

Литература

1. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2014 году. Ежегодник. Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-производственное объединение «Тайфун». – Обнинск, 2015. – 350 с.: https://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/a5f/ezhegodnik_ro_2014.pdf (дата обращения: 14.05.2019)
2. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2015 году. Ежегодник. Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-производственное объединение «Тайфун». – Обнинск, 2016. – 348 с.: https://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/e38/ezhegodnik_2015.pdf (дата обращения: 14.05.2019)
3. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2016 году. Ежегодник. Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-производственное объединение «Тайфун». – Обнинск, 2017. – 397 с.: https://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/130/ezhegodnik_ro_2016.pdf (дата обращения: 14.05.2019)
4. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2017 году. Ежегодник. Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-производственное объединение «Тайфун». – Обнинск, 2018. – 360 с.: https://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/1c9/ezhegodnik_ro_2017.pdf (дата обращения: 14.05.2019)
5. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2007 году. Ежегодник. Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-производственное объединение «Тайфун». – Обнинск, 2008. – 285 с.: https://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/ba8/ezhegodnik_2007.pdf (дата обращения: 14.05.2019)
6. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2008 году. Ежегодник. Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-производственное объединение «Тайфун». – Обнинск, 2009. – 297 с.: https://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/add/ezhegodnik_ro_2008.pdf (дата обращения: 14.05.2019)
7. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2009 году. Ежегодник. Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-производственное объединение «Тайфун». – Обнинск, 2010. – 316 с.: https://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/2d0/ezhegodnik_ro_2009.pdf (дата обращения: 14.05.2019)
8. Телушкина, Е.Л. Гигиеническая оценка радиационной обстановки в районе расположения одного из предприятий, обусловленной удалением трития в окружающую среду / Е.Л. Телушкина, И.А. Сулла, В.И. Матюнин // Бюллетень радиационной медицины. – 1975. – №1. – С. 27 – 33.
9. Масловский, Р.Я. Гигиеническая оценка загрязненности радиоактивными аэрозолями и тритием атмосферного воздуха населенных пунктов в районе предприятия атомной промышленности / Р.Я. Масловский, Л.М. Щербакова, С.Н. Демин // Бюллетень радиационной медицины. – 1979. – №2. – С. 59 – 64.
10. Востротин, В.В. Накопление трития в снежном покрове зоны влияния ПО «Маяк» за осенне-зимний сезон 2015–2016 гг. / В.В. Востротин, А.Ю. Янов, Л.В. Финашов // Вопр. радиац. безопасности. – 2017. – № 3 (87). – С. 63–67.: https://www.researchgate.net/publication/321050220_Accumulation_of_Tritium_in_the_Snow_Cover_in_the_Mayak_PA_Affected_Area_During_the_Autumn_and_Winter_Season_2015-2016_NAKOPLЕНИЕ_TRITIA_V_SNEZNOM_POKROVE_ZONY_VLIANIA_PO_MAAK_ZA_OSENNE-ZIMNIJ_SEZON_20 (дата обращения: 14.05.2019)
11. Чеботина, М.Я. Поступление трития на земную поверхность с дождевыми осадками / М.Я. Чеботина, О.А. Николин, Е.Л. Мурашова // Водн. хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2012. – № 5. – С. 77–87: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18019244> (дата обращения: 14.05.2019).
12. Чеботина, М.Я. Тритий в снеговом покрове в зонах воздействия предприятий ядерно-топливного цикла на Урале / М.Я. Чеботина, О.А. Николин, А.И. Смагин // Водн. хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2014. – № 2. – С. 102–113: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21467267> (дата обращения: 14.05.2019).
13. Телушкина, Е.Л. Радиационно-гигиеническая оценка загрязнения внешней среды тритием и дозовые нагрузки на население в районе радиохимического предприятия / Е.Л. Телушкина, С.Н. Демин // Бюл. радиац. мед. – 1987. – № 1. – С. 23 – 28.

14. Уйба, В.В. Итоги 63-й сессии Научного Комитета по действию атомной радиации (НКДАР) ООН (Вена, 27 июня – 1 июля 2016 г.) / В.В. Уйба, А.В. Акеев, Т.В. Азизова [и др.] // Мед. радиология и радиац. безопасность. – 2016. – Т. 61, № 5. – С. 69–79: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27319236> (дата обращения: 14.05.2019).
15. Чеботина, М.Я. Тритий в моче людей в зоне влияния Белоярской АЭС / М.Я. Чеботина, О.А. Николин, Л.Г. Бондарева, В.Н. Ракитский // Радиационная гигиена. – 2016. – Т. 9, № 4. – С. 87–92: DOI: 10.21514/1998-426X-2016-9-4-87-92 https://www.researchgate.net/publication/312378953_TRITIUM_IN_URINE_OF_PEOPLE_LIVING_IN_THE_AREA_OF_INFLUENCE_OF_THE_BELOYARSKAYA_NPP (дата обращения: 14.05.2019).
16. Scott D.W. Multivariate Density Estimation: Theory, Practice, and Visualization. 2nd Edition. Wiley, 2015, 384 p., ISBN: 0471697559.

Поступила: 14.05.2019 г.

Финашов Леонид Викторович – младший научный сотрудник лаборатории радиационной безопасности Южно-Уральского института биофизики Федерального медико-биологического агентства России. **Адрес для переписки:** 456780, Россия, Челябинская область, г. Озёрск, Озёрское шоссе, д. 19; E-mail: finashov@subi.su

Востротин Вадим Владимирович – кандидат биологических наук; заведующий лабораторией радиационной безопасности Южно-Уральского института биофизики Федерального медико-биологического агентства России, Озёрск, Россия

Янов Александр Юрьевич – кандидат биологических наук; научный сотрудник лаборатории радиационной безопасности Южно-Уральского института биофизики Федерального медико-биологического агентства России, Озёрск, Россия

Для цитирования: Финашов Л.В., Востротин В.В., Янов А.Ю. Тритий в моче у жителей города Озерска Челябинской области в 2016 г. // Радиационная гигиена. – 2019. – Т. 12, № 3. – С. 42-49. DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-3-42-49

Tririum in urine in residents of Ozyorsk, the Chelyabinsk region in 2016

Leonid V. Finashov, Vadim V. Vostrotin, Aleksandr Yu. Yanov

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

Objectives. To create the model of relation between volume activity of tritium in urine of Ozyorsk residents and physical and biological factors. To define the correspondence of internal exposure doses of Ozyorsk residents obtained from tritium to standards and requirements of present-day radiation security system. In the framework of the objectives the following tasks were solved: measurement of volume activity of tritium in the urine; detection of main factors affecting the volume activity of tritium in the urine; estimation of the distribution of committed effective dose equivalent of internal exposure due to tritium intake in 2016 among Ozyorsk residents under stable radiation environment. Material and methods. 30 samples of urine were taken from resident of Ozyorsk Chelyabinsk region never employed at the Mayak Production Association in 2016. Measurement of tritium volume activity in the urine was performed using up-to-date ultra low level beta spectrometer Quantulus-1220. A questionnaire was developed that allowed collection of individual data on the water intake regime, on the occupational activity and the living conditions of people under study. Statistical processing was performed using software Excel-2013 and R. In order to develop models of dependency of tritium volume activity in urine of the residents from continuous and/or category variables we used correlation and regression methods of analysis. In order to compare two samples by mean value of tritium volume activity Student t-criterion was used. In order to verify normality of dose distribution Shapiro-Wilk test was used. Results. Volume activity of tritium in urine of adult Ozyorsk residents in 2016 was in average 18.5 ± 1.1 Bq/dm³, volume activity of tritium in urine of children – 12.6 ± 2.3 Bq/dm³ in average. Major statistical characteristics of estimates of committed effective dose equivalent from tritium in Ozyorsk residents due to intake on 2016 under stable radiation environment obtained from a sample of 30 individuals were the following: minimum value made 0.07 µSv, mean value was 0.27 µSv, coefficient of variation made 36%, maximum value made 0.49 µSv. A model of dependence of tritium volume activity in urine of Ozyorsk residents from the water supply source was obtained. Conclusions. Estimates of committed effective dose equivalent of internal exposure from tritium among Ozyorsk residents due to intake in 2016 made: mean value of committed effective dose equivalent was 0.027 and maximum value made 0.05% from the annual effective dose limit for residents under unifactor tritium intake. In 2016, the levels of tritium volume activity in the bodies of adult and children population of Ozyorsk city depended on volume activity of tritium in drinking water supply sourced more than on the age. As of 2016, under stable radiation environment at Mayak Production Association, tritium did not pose any threat for Ozyorsk population.

Key words: tritium, internal exposure, volume activity, population, committed effective dose equivalent, radiation protection, Mayak Production Association.

Leonid V. Finashov

Southern Urals Biophysics Institute

Address for correspondence: Ozerskoe shosse, 19, Ozersk, 456780, Chelyabinsk region, Russia; E-mail: finashov@subi.su

References

1. Radiation environment in Russia and neighboring countries in 2014. Annual. Federal State Budgeted Institution "Scientific and Production Association "Typhoon", Obninsk, 2015, 350 p. – Available on: https://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/a5f/ezhegodnik_ro_2014.pdf (Accessed: 14.05.2019) (in Russian).
2. Radiation environment in Russia and neighboring countries in 2015. Annual. Federal State Budgeted Institution "Scientific and Production Association "Typhoon", Obninsk, 2016, 348 p. – Available on: https://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/e38/ezhegodnik_2015.pdf (Accessed: 14.05.2019) (in Russian).
3. Radiation environment in Russia and neighboring countries in 2016. Annual. Federal State Budgeted Institution "Scientific and Production Association "Typhoon", Obninsk, 2017, 397 p. – Available on: https://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/130/ezhegodnik_ro_2016.pdf (Accessed: 14.05.2019) (in Russian).
4. Radiation environment in Russia and neighboring countries in 2017. Annual. Federal State Budgeted Institution "Scientific and Production Association "Typhoon", Obninsk, 2018, 360 p. – Available on: https://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/1c9/ezhegodnik_ro_2017.pdf (Accessed: 14.05.2019) (in Russian).
5. Radiation environment in Russia and neighboring countries in 2007. Annual. Federal State Budgeted Institution "Scientific and Production Association "Typhoon", Obninsk, 2008, 285 p. – Available on: https://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/ba8/ezhegodnik_2007.pdf (Accessed: 14.05.2019) (in Russian).
6. Radiation environment in Russia and neighboring countries in 2008. Annual. Federal State Budgeted Institution "Scientific and Production Association "Typhoon", Obninsk, 2009, 297 p. – Available on: https://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/add/ezhegodnik_ro_2008.pdf (Accessed: 14.05.2019) (in Russian).
7. Radiation environment in Russia and neighboring countries in 2009. Annual. Federal State Budgeted Institution "Scientific and Production Association "Typhoon", Obninsk, 2010, 316 p. – Available on: https://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/2d0/ezhegodnik_ro_2009.pdf (Accessed: 14.05.2019) (in Russian).
8. Telushkina E.L., Sulla I.A., Matunin V.I. Hygienic assessment of radiation situation in the area close to one of the enterprises due to emission of tritium into the environment. Byulleten radiatsionnoy meditsiny = Radiation medicine report, 1975, No.1, pp. 27 – 33. (in Russian)
9. Maslovsky R.Ya., Shcherbakova L.M., Demin S.N. Hygienic assessment of air contamination by radioactive aerosols and tritium in towns in the area of atomic production enterprises. Byulleten radiatsionnoy meditsiny = Radiation medicine report, 1979, No.2, pp. 9 – 64. (in Russian)
10. Vostrotin V.V., Yanov A.Yu., Finashov L.V. Accumulation of tritium in snow cover in Mayak PA affected area during autumn and winter season of 2015-2016. Voprosy radiatsionnoy bezopasnosti = Radiation safety issues, 2017, No.3 (87), pp. 63–67. – Available on: https://www.researchgate.net/publication/321050220_Accumulation_of_Tritium_in_the_Snow_Cover_in_the_Mayak_PA_Affected_Area_During_the_Autumn_and_Winter_Season_2015-2016_NAKOPLЕНИЕ_TRITIYA_V_SNEZHNOM_POKROVE_ZONY_VLIANIA_PO_MAAK_ZA_OSENNE-ZIMNIY_SEZON_20 (Accessed: 14.05.2019) (in Russian).
11. Chebotina M.I., Nikolin O.A., Murashova E.L. Intake of tritium to earth surface through rainfall. Vodnoe khozyaystvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie = Water sector of Russia: problems, technologies, management, 2012, No. 5, pp. 77–87. – Available on: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18019244> (Accessed: 14.05.2019) (in Russian).
12. Chebotina M.I., Nikolin O.A., Smagin A.I. Tritium in snow cover in affected areas of nuclear-cycle facilities in Urals. Vodnoe khozyaystvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie = Water sector of Russia: problems, technologies, management. 2014, No. 2, pp. 102–113. – Available from: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21467267> (Accessed: 14.05.2019) (in Russian).
13. Telushkina E.L., Demin S.N. Radiation hygienic assessment of contamination of environment by tritium and dose loads for population in the area of a radiochemical enterprise. Byulleten radiatsionnoy meditsiny = Radiation medicine report, 1987, No.1, pp. 23 – 28. (in Russian).
14. Uiba V.V., Akleev A.V., Azizova T.V. [et al.] Results of the 63rd session of United Nations Scientific Committee on the effects of atomic radiation (UNSCEAR) (Vienna, June 27 – July 1, 2016). Meditsinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost = Medical radiology and radiation safety, 2016, V.61, № 5, pp. 69–79. – Available on: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27319236> (Accessed: 14.05.2019) (in Russian).
15. Chebotina M.Ya., Nikolin O.A., Bondareva L.G., Rakitsky V.N. Tritium in urine of people living in the area of influence of the Beloyarskaya NPP. Radiatsionnaya gigiena = Radiation Hygiene, 2016, Vol.9, No 4, pp.87–92. DOI: 10.21514/1998-426X-2016-9-4-87-92. – Available on: https://www.researchgate.net/publication/312378953_TRITIUM_IN_URINE_OF_PEOPLE_LIVING_IN_THE_AREA_OF_INFLUENCE_OF_THE_BELOYARSKAYA_NPP (Accessed: 14.05.2019) (in Russian).
16. Scott D.W. Multivariate Density Estimation: Theory, Practice, and Visualization. 2nd Edition. Wiley, 2015, 384 p., ISBN: 0471697559.

Received: May 14, 2019

For correspondence: Leonid V. Finashov – Junior scientist, laboratory of the radiation protection of Southern Urals Biophysics Institute of the Federal Medical Biological Agency of Russia (Ozerskoe shosse, 19, Ozersk, 456780, Chelyabinsk region, Russia; E-mail: finashov@subi.su)

Vadim V. Vostrotin – PhD, head of the laboratory of the radiation protection of Southern Urals Biophysics Institute of the Federal Medical Biological Agency of Russia, Ozyorsk, Russia

Aleksandr Yu. Yanov – PhD, Scientist, laboratory of radiation protection of Southern Urals Biophysics Institute of the Federal Medical Biological Agency of Russia, Ozyorsk, Russia

For citation: Finashov L.V., Vostrotin V.V., Yanov A.Yu. Tritium in urine in residents of Ozyorsk, the Chelyabinsk region in 2016. Radiatsionnaya Gigiena = Radiation Hygiene, 2019, Vol. 12, No. 3, pp. 42-49. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-3-42-49

Проблемы риск-коммуникации: методические подходы к использованию социологических данных в планировании информационной работы с населением по вопросам радиационной безопасности

Л.В. Репин ¹, А.М. Библин ¹, Н.М. Вишнякова ¹, Н.В. Соколов ², А.А. Давыдов ¹

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 государственный университет, Правительство Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

В документах МАГАТЭ, МКРЗ, в Указе Президента РФ от 13 октября 2018 г. № 585 «Об утверждении Основ государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации на период до 2025 г. и дальнейшую перспективу» отмечается возрастание роли общественности в принятии решений в области использования ионизирующего излучения. При организации взаимодействия с заинтересованными сторонами должен быть подготовительный этап — социологические исследования, в ходе которых участники информационного взаимодействия (заинтересованные стороны) имеют возможности изучения установок друг друга, с тем чтобы само взаимодействие носило максимально конструктивный характер. Социологические исследования позволяют определять позиции заинтересованных сторон относительно предмета риск-коммуникации на начальном этапе процесса, в ходе реализации принятых решений и при оценке эффективности риск-коммуникации. Основой социологического исследования является программа. При формировании программы социологического исследования следует предварительно определить существенные факторы, способные повлиять на отношение к конкретному управленческому решению различных заинтересованных сторон. Главная цель социологического исследования состоит в изучении спектра мнений и особенностей восприятия планируемого управленческого решения различными участниками процесса риск-коммуникации. При оценке социологических исследований одной из основных задач является определение сути возможных противоречий в позициях заинтересованных сторон, что в значительной степени определяет готовность заинтересованных сторон к диалогу. В согласовательной риск-коммуникации результаты социологического исследования полезны при формировании трех разделов информационных материалов: общая информация о мероприятии, оценка выгод, оценка угроз.

Ключевые слова: риск-коммуникация по вопросам радиационной безопасности, атомная отрасль, заинтересованные стороны, социологические исследования, программа социологических исследований, установки о риске, управленческие решения.

Введение

Одной из современных тенденций, отмеченных в «Основах государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации на период до 2025 года и дальнейшую перспективу», является «возрастание роли общественности в принятии решений в области использования атомной энергии». При этом «обеспечение ... доступности и открытости информации для общественных организаций и населения о радиационной обстановке, состоянии ядерной и радиационной безопасности» является, в соответствии

с указанным документом, одним из основных направлений «реализации государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности». Международное агентство по атомной энергии указывает на то, что желание заинтересованных сторон осуществлять право участия в принятии решений является фактором, который необходимо учитывать [1]. Международная комиссия по радиологической защите, в свою очередь, отмечает, что обеспечение радиационной безопасности не только относится к области научного знания, но также затрагивает вопросы этики и здравого смысла [2].

Библин Артём Михайлович

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

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

В реальной жизни нередко ситуации, в которых интересы отдельного человека, общества в целом, бизнеса и государства до некоторой степени противоречат друг другу. Современный бизнес, в том числе атомная отрасль, в качестве одного из важнейших критериев, отражающих его успешность, предполагает нацеленность на устойчивое развитие [3, 4]. Для государственной власти одной из главных целей является обеспечение социальной стабильности и благополучия населения. Основные интересы конкретного человека проще всего описать словами «благоприятная среда обитания» и «достойный уровень жизни». Интересы же общества в целом (на уровне местных сообществ) сочетают в себе все вышеуказанное в различных пропорциях. Принятие управленческих решений, прямо или косвенно затрагивающих интересы вышеуказанных или иных заинтересованных сторон, способно нарушить сложившийся баланс интересов [5]. Примерами таких решений в области радиационной безопасности могут служить решения о строительстве объектов атомной отрасли или о прекращении их функционирования.

В подобных ситуациях для сохранения баланса интересов необходим диалог с участием всех заинтересованных сторон. При этом подходы к организации такого диалога могут быть весьма различны. Представители органов государственной власти руководствуются различными законодательными актами Российской Федерации, регулирующими общественное участие в принятии управленческих решений. Представители организаций, входящих в состав Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» (ГК «Росатом»), при организации взаимодействия с заинтересованными сторонами, помимо законодательства Российской Федерации, руководствуются положениями стандартов AccountAbility серии AA1000 [6–9]. Серия стандартов социальной отчетности компаний AccountAbility разработана британским Институтом социальной и этической отчетности и предназначена для измерения результатов деятельности компаний с этических позиций. Они предоставляют процедуру и набор критериев, при помощи которых может быть осуществлен социальный и этический аудит их деятельности. Эти стандарты характеризуются внедрением в повседневную практику компании системы постоянного диалога с заинтересованными сторонами.

Независимо от подходов к организации взаимодействия с заинтересованными сторонами, можно выделить подготовительный этап, в ходе которого участники информационного взаимодействия (заинтересованные стороны) имеют возможности изучения позиций и установок¹ друг друга, с тем чтобы само взаимодействие носило максимально конструктивный характер.

Процесс поиска возможностей для сближения позиций по вопросу, связанному с различными факторами риска, называется риск-коммуникацией. ВОЗ 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» [11]. Между тем подобное определение не дает представления о наличии явной цели коммуникации у заинтересованной стороны, инициировавшей данный процесс. В статье Л.В. Репина и др. [10] предложено более конкретное определение риск-коммуникации как «намеренно инициированный одним из участников информационного поля² процесс взаимодействия с другими участниками, нацеленный на изучение установок о риске других участников, их изменение или на формирование/изменение собственных установок о риске». Подобное определение, как нам представляется, более точно отражает суть процесса, а предложенный перечень целей является вполне исчерпывающим.

Стратегическая цель информационной работы заключается в построении прочного фундамента для эффективного взаимодействия заинтересованных сторон в ближайшей и в долгосрочной перспективе. Социологические исследования в этом процессе позволяют определять позиции заинтересованных сторон относительно предмета риск-коммуникации на начальном (подготовительном) этапе процесса, в ходе реализации принятых решений и при оценке эффективности риск-коммуникации [12].

Важно иметь в виду, что некорректное и формальное использование результатов социологических исследований для формирования общественного мнения приводит к снижению эффективности общественного участия в принятии управленческих решений и может привести к увеличению политических и социальных рисков [5].

При организации информационной работы с населением прежде всего необходимо определить сущностные различия установок заинтересованных сторон о конкретном управленческом решении. Социологические методы исследования выступают при этом в качестве инструмента выявления и сопоставления установок не только у населения, но и у других заинтересованных сторон.

Основой социологического исследования является программа, в которой содержатся теоретико-методологические, методические и процедурные основы исследования [13]. При формировании программы социологического исследования следует предварительно определить существенные факторы, способные повлиять на отношение к конкретному управленческому решению различных заинтересованных сторон. Основными при-

¹ 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 [10].

² Информационное поле риска (далее – информационное поле) – совокупность технологий, средств, методов и участников пространства и обмена информацией о риске [11]. Информационное поле риска может существовать независимо от существования реального риска, а представленная в таком поле информация о риске не обязательно соответствует реальному положению дел. Т.е. события информационного поля не всегда связаны с событиями рискованного поля. Примерами существования информационного поля риска в отсутствие самого риска являются информационные вбросы или распространение/изучение информации о риске в процессе образования [11].

чинами негативного отношения к управленческому решению могут являться:

1. Объект капитального строительства сам по себе как потенциальный источник опасности (аварии, катастрофы) и как источник загрязнения окружающей среды в процессе нормальной эксплуатации.

2. Обстоятельства, связанные с его строительством, эксплуатацией или закрытием: например, транспортный шум, возрастающая нагрузка на дороги общего назначения, рост цен на аренду жилья, связанный с приездом большого количества наемных работников, опасность аварий при перевозке грузов, потеря работы в связи с закрытием предприятия и т.п.

3. Сам действующий фактор (ионизирующее излучение как вредный физический фактор среды обитания), вызывающий тревожность у части населения вне зависимости от предполагаемых дозовых нагрузок.

4. Сложность понимания научных понятий, таких как неопределенность в оценке риска. Субъективизм при оценке приемлемости³ рисков. К известным особенностям при оценке приемлемости рисков относятся деперсонализация рисков⁴ представителями власти, хозяйствующих субъектов и специалистов с одной стороны, и персонализация рисков⁵ населением – с другой, а также пренебрежение рисками со стороны части работников – с третьей.

Особенности формирования программы социологического исследования

Для согласовательной риск-коммуникации, т.е. риск-коммуникации, направленной на выработку заинтересованными сторонами взаимоприемлемых решений, связанных с реализацией планов хозяйствующих субъектов и органов государственной власти, затрагивающих интересы каких-либо причастных сторон, главная цель социологического исследования состоит в изучении спектра мнений и особенностей восприятия планируемого управленческого решения различными заинтересованными сторонами (участниками процесса риск-коммуникации).

Наряду с целью, в программе социологического исследования, формулируются задачи. При определении задач необходимо уделить внимание следующим основным аспектам:

- Связанные с конкретным решением:

1. Осведомленность и заинтересованность населения в получении информации о планируемом управленческом решении.

2. Какие выгоды (личные и социальные) видят в таком решении представители различных причастных сторон.

3. С какими потенциальными негативными последствиями связывают принятие решения разные заинтересованные стороны.

- Отражающие взаимоотношения населения с другими заинтересованными сторонами:

1. Уровень доверия к государственным институтам и их представителям.

2. Отношение к представителям власти и хозяйствующим субъектам.

3. Предпочтительные источники информации (СМИ, Интернет и т.д.) и отношение к ним.

- Связанные с характеристикой заинтересованных сторон:

1. Общие сведения о респондентах.

2. Важные для населения социальные факторы, проблемы, угрозы; уровень социальной активности.

3. Уровень знаний и экологического сознания, базовых установок чиновников, специалистов, населения и других причастных сторон.

Одной из основных задач социологического исследования является определение различия установок заинтересованных сторон и соответствующих этим установкам позиций по вопросу риск-коммуникации (и аргументации в процессе диалога):

1. Дифференциация объектов атомной отрасли как объектов риск-коммуникации (участники процесса риск-коммуникации воспринимают различные объекты атомной отрасли как независимые и различающиеся по соотношению польза/вред). «Атомная отрасль» может восприниматься как совокупность принципиально независимых объектов использования атомной энергии. Например, население может положительно оценивать пользу от эксплуатации атомной электростанции, не связывая ее деятельность с производством радиоактивных отходов.

2. Идентификация видов угроз (детализация установок о рисках у различных заинтересованных сторон, определение, чего конкретно опасается население в связи с обсуждаемым управленческим решением, а какие возможные угрозы видят специалисты). Например, население может воспринимать атомную станцию главным образом как источник потенциальной техногенной катастрофы, а пункт захоронения радиоактивных отходов – как источник постоянных (или потенциальных) экологических загрязнений. С другой стороны, население может воспринимать объект атомной отрасли как источник бытовых неудобств, связанных с процессом строительства.

3. Соотношение выгод и угроз. Данная задача является ключевой для согласовательной риск-коммуникации. Именно принципиально различная оценка представителями разных заинтересованных сторон как выгод, так и угроз, связанных с реализацией конкретного решения, может быть (и как правило, является) причиной диаметрально противоположных установок о нем.

³ Этическая основа современной системы радиационной защиты заложена в соглашении о приемлемых рисках [14], однако в настоящее время МКРЗ считает данную концепцию устаревшей и лишенной необходимого межкультурного универсализма [2], предлагая использовать иные этические принципы.

⁴ Деперсонализация рисков – отношение к численным оценкам риска как к абстрактным математическим величинам, когда при принятии управленческих решений численные значения воспринимаются исключительно в сравнении с рисками от прочих опасных факторов.

⁵ Персонализация рисков – одна из особенностей восприятия риска населением, при которой значительная часть людей воспринимает любое численное значение риска как персонифицированный риск («Это я буду одним из тысячи», «Это мой ребенок может быть одним из миллиона»).

4. Оценка уровня информированности (и заинтересованности в информации) о принимаемых решениях. Отсутствие у какой-либо социальной категории информации о принимаемых решениях и интереса к такой информации может свидетельствовать о том, что установки о данном решении формируются не на основании оценки соотношения выгод и угроз, т.е. являются поверхностными и неустойчивыми [15].

5. Оценка уровня знаний в области обеспечения радиационной безопасности и воздействия ионизирующего излучения на человека и окружающую среду, оценка «полезности» конкретных видов использования ионизирующего излучения. Оценка уровня знаний представляет собой сложную социологическую задачу, решение которой направлено на коррекцию базовых установок по вопросам радиационной безопасности, т.е. на разработку предложений по мероприятиям в области образования/просвещения. Низкий уровень знаний о «полезном» использовании ионизирующего излучения приводит к смещению оценки польза/вред в сторону его неприятия. Низкий уровень знаний о возможных негативных последствиях воздействия ионизирующего излучения приводит к обратному результату – пренебрежению реальной опасностью (обычно у персонала, работающего с источниками ионизирующего излучения) или, напротив, к сильному преувеличению опасности (например, возможно закрепление установки «Радиация вызывает рак и мутации» безотносительно вероятностного характера данного утверждения) [15].

6. Анализ информационного поля. В условиях информационной революции, связанной с развитием Интернета, для обеспечения эффективной риск-коммуникации необходим детальный анализ информационного поля не только на федеральном и региональном, но и на местном уровне [17, 18]. При этом все большее внимание следует уделять именно анализу информационных источников в сети Интернет, в том числе – социальным сетям [19]. Важной особенностью данного канала распространения информации является постоянное развитие технологий и, соответственно, изменение предпочтений пользователей в способах и «местах» получения информации посредством сети Интернет. Типичной ошибкой при анализе информационного поля региона является восприятие Интернета как инертной гомогенной среды.

7. Определение возможной фиксации на объективно-ложных установках (у специалистов, чиновников, представителей хозяйствующих субъектов). Специалисты, представители органов государственной власти и хозяйствующих субъектов не меньше, чем население, подвержены абсолютизации собственных установок о риске. Крайне важно определять ошибочные установки, т.к. они способны воспрепятствовать нормальной коммуникации [15]. Отрицание возможности аварии, утверждение об абсолютной (или наибольшей среди всех технологий) экологической безопасности ядерной энергетики и другие категоричные формы установок формируют у названных лиц точку зрения, которая полагает все прочие точки зрения заведомо ошибочными. Такие установки не способствуют построению диалога с другими заинтересованными сторонами.

Оценка социологических данных

Доступность и открытость информации по различным вопросам в области обеспечения радиационной безо-

пасности, с одной стороны, и возрастание роли ответственности в принятии решений в области использования атомной энергии – с другой, предполагает широкий обмен мнениями всех заинтересованных сторон.

Информационная повестка любого решения в области обеспечения радиационной безопасности, предполагающего обсуждение данной тематики, в самом общем виде подразумевает широкий перечень тем обсуждения, вопросов и проблем, к числу которых относятся:

- Экология.
- Вред для здоровья.
- Изменение привычного облика окружающей среды.
- Ощущение потенциальной опасности.
- Изменение привычного уклада жизни и др.

Научные аналитические отчеты о социологических исследованиях редко содержат рекомендации по практическому использованию их результатов. В то же время именно понимание практической значимости результатов социологических исследований позволяет эффективно использовать их в информационной работе с населением. Ниже представлено прикладное значение социологических исследований по вопросам обеспечения радиационной безопасности.

Главная цель информационной работы с населением по вопросам радиационной безопасности заключается в формировании в российском обществе культуры риска (по отношению к конкретному фактору риска – ионизирующему излучению), т.е. такого отношения к объектам использования атомной энергии и мероприятиям атомной отрасли, которое основано на субъективной оценке соотношения выгод и угроз от конкретных видов практического использования ионизирующих излучений, а не на безусловных установках об их заведомой приемлемости (безопасности) или неприемлемости. Адекватное отношение к принимаемым в этой области управленческим решениям, таким образом, является частью более общего явления.

Одна из ключевых особенностей информационной работы заключается в том, что различные заинтересованные стороны при наличии адекватного (в указанном выше смысле) отношения к конкретному решению у обеих (или нескольких) сторон могут при этом иметь различные точки зрения и установки относительно приемлемости/неприемлемости предлагаемых подходов к реализации мероприятия.

Одна из первоочередных задач стороны, ответственной за принятие управленческого решения в области использования ионизирующих излучений и инициировавшей процесс риск-коммуникации, заключается в поиске точек соприкосновения и в сближении тех позиций заинтересованных сторон, которые принципиально отличаются [10]. Для определения сути возможных противоречий в позициях ниже приводится перечень вопросов, ответы на которые можно получить с помощью анализа социологических данных. Следует учитывать, что прямые вопросы зачастую не дают возможность получить достоверные ответы. Готовность заинтересованных сторон к диалогу с другими сторонами в значительной степени определяется пониманием сути разногласий.

Вопросы к населению:

– известно ли населению о данном управленческом решении;

- соотносит ли население данное решение с понятиями «Атомная отрасль», «Атомная энергетика», «Радиация», «Экология» и т.п.;
- как население определяет ответственных за данное решение – это инициатива местной власти, инициатива «государства», инициатива ГК «Росатом» или каких-либо аффилированных с ней компаний и т.д.;
- с какими видами возможных негативных последствий население соотносит реализацию данного решения;
- воспринимает ли население данные угрозы как личные (угрозу себе и своим близким, в первую очередь – детям);
- видит ли население какие-либо личные выгоды от реализации данного решения;
- видит ли население какие-либо социальные выгоды от реализации данного решения;
- насколько часто и по каким поводам население проявляет/готово проявлять активность при общественно-значимых событиях федерального или местного масштаба.

Вопросы к специалистам и представителям органов власти, которые могут участвовать в информационной работе с населением:

- понимают ли специалисты и чиновники роль восприятия риска и влияние этого фактора на здоровье;
- понимают ли специалисты и чиновники субъективный характер оценки приемлемости риска и влияние неопределенностей оценки риска на эту оценку;
- понимают ли специалисты и чиновники, что влияние на принятие решений не является исключительной прерогативой специалистов и не должно строиться исключительно на основе экспертной оценки вероятности возможных негативных последствий мероприятия в случае возникновения нештатных ситуаций;
- умеют ли специалисты абстрагироваться от требований нормативных документов в области обеспечения радиационной безопасности и отличать современные научные знания от договоренностей, положенных в основу системы радиационной защиты;
- считают ли специалисты и чиновники своей задачей «успокоить население», чтобы оно «не боялось радиации»;
- считают ли специалисты и чиновники допустимым сокрытие информации от населения и других причастных сторон для защиты от паники или во избежание «неправильного понимания» сложной научной информации неспециалистами;
- понимают ли специалисты и чиновники, что тревоги населения в связи с реализацией конкретного управленческого решения могут быть связаны совсем не с теми факторами, которые являются наиболее потенциально опасными по возможным негативным последствиям с точки зрения специалистов.

Вопросы об общественных объединениях:

- какие общественные объединения освещают данную тематику и насколько активно;
- какие общественные объединения известны местному населению в связи с данной деятельностью и как они воспринимаются населением;
- каковы возможные истинные цели данных общественных объединений (политические, экологические, финансовые);
- каких специалистов привлекают данные общественные объединения в качестве экспертов по данной проблематике.

Вопросы о СМИ и Интернете:

- является ли данное управленческое решение активной частью федеральной или местной информационной повестки.

Ответы на данные вопросы, полученные в результате анализа социологических данных, могут быть использованы при подготовке к различным практическим мероприятиям по информационной работе. Ниже изложены принципы использования социологических данных в различных ситуациях.

Использование социологических данных при подготовке информационных материалов

Подготовка информационных материалов является одним из этапов согласовательной риск-коммуникации, т.е. направленной на поиск взаимоприемлемого решения о реализации управленческого решения. Цель формирования информационных материалов заключается в выражении открытой и прозрачной позиции инициаторов процесса риск-коммуникации, адресованной населению в целом. Следовательно, наиболее важная информация для таких материалов содержится в результатах социологических исследований населения.

В эпоху информационной открытости, с учетом существования большого количества независимых источников информации, любые материалы, предназначенные для опубликования в официальных источниках информации (например, на сайтах организаций атомной отрасли или органов государственной власти), в средствах массовой информации, на сайтах общественных объединений и политических партий и т.д. рекомендуется готовить для аудитории, не имеющей специальных знаний по вопросам радиационной безопасности.

В согласовательной риск-коммуникации результаты социологического исследования полезны при формировании трех разделов информационных сообщений (общая информация о мероприятии, оценка выгод, оценка угроз) в зависимости от полученных результатов социологических исследований:

1. Общая информация может включать в себя цель принимаемого решения, причины, по которым выбран конкретный способ реализации решения, какое место конкретное решение занимает в системе обеспечения радиационной безопасности, кто отвечает за реализацию решения, какие альтернативные варианты рассматривались и почему был выбран конкретный вариант реализации.

Важно учитывать, что в публичной информации цели мероприятия необходимо формулировать в терминах целей обеспечения радиационной безопасности, а не в терминах конкретных инженерных и технологических решений.

Неправильно: цель данного мероприятия – строительство в вашем районе пункта захоронения радиоактивных отходов.

Правильно: цель данного мероприятия – снижение угрозы от небезопасного хранения радиоактивных отходов.

2. Оценка угроз от реализации управленческого решения населением может отличаться от оценки угроз специалистами. Данные оценки могут быть верными, ошибочными и дискуссионными, тогда как их важность для населения субъективна по своей природе и должна учитываться при выработке публичной позиции.

Рекомендуется уделять внимание вопросам, которые население считает наиболее значимыми, даже если эти вопросы не относятся напрямую к области обеспечения радиационной безопасности.

Например, специалисты могут оценивать угрозу аварии на пункте захоронения радиоактивных отходов, тогда как население может считать его источником экологического загрязнения в условиях нормальной эксплуатации.

3. Оценка выгод – наиболее сложный для коммуникации вопрос. Население склонно оценивать личные выгоды, тогда как представители власти мыслят категориями социальных выгод. Например, личная выгода для населения может заключаться в снижении стоимости электричества, тогда как представители власти могут видеть выгоду в увеличении числа рабочих мест и налоговых поступлений, которые можно направить на решение социальных проблем.

Заключение

Адекватное отношение заинтересованных сторон к предмету согласовательной риск-коммуникации является необходимым условием ее эффективности, при этом максимальное внимание необходимо уделять вопросам, которые по результатам социологических исследований показали наибольшее расхождение в позициях заинтересованных сторон. Таким образом, информация, полученная в ходе социологических исследований населения, может применяться для формирования публичных информационных материалов, главным адресатом которых является население.

Невысокий уровень информированности населения о принимаемых управленческих решениях, установленный в результате анализа социологических данных, свидетельствует о необходимости более активного освещения данного решения, независимо от уровня интереса к данной проблематике, определенного в ходе социологических исследований.

Привлечение населения к процессу принятия решений путем обнародования публичной позиции должно осуществляться по инициативе государства или хозяйствующего субъекта, а не являться его вынужденной реакцией на действия других заинтересованных сторон и публикаций в СМИ.

Статья подготовлена в ходе выполнения работ по государственному контракту № Н.4Д.241.20.17.1026 от 20 марта 2017 г. по теме «Разработка и научное обоснование практических мероприятий по освещению в Северо-Западном федеральном округе Российской Федерации деятельности по повышению радиационной безопасности в рамках федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016–2020 годы и на период до 2030 года».

Литература

1. NSAG Series No. 20 INSAG-20 Привлечение заинтересованных сторон к решению ядерных вопросов. МАГАТЭ, Вена, 2015. — 21 с.
2. Cho K. W. [et al.] ICRP Publication 138: Ethical Foundations of the System of Radiological Protection. Annals of the ICRP, 2018, Vol. 47, №. 1, pp. 1-65.
3. Судас, Л.Г. Бизнес за устойчивое развитие / Л.Г. Судас // Государственное управление. Электронный вестник (Электронный журнал). — 2017. — № 64. — С. 241–262.
4. Буклет «Росатом. Результаты для устойчивого развития. 2017». — 2018. — 17 с.: <https://www.rosatom.ru/upload/iblock/718/718e4d355dded4d8825093c1f0763274.pdf> (Дата обращения: 01.07.2019)
5. Карпов, А.С. Формы общественного участия в принятии решений / А.С. Карпов. — М.: РАНХиГС, 2012 — 115 с.
6. Приказ Госкорпорации «Росатом» от 14.04.2015 N 1/364-П (ред. от 27.04.2017) «Об утверждении Единой отраслевой антикоррупционной политики Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» и ее организаций и Единых отраслевых методических указаний по оценке коррупционных рисков в организациях государственной корпорации по атомной энергии «Росатом».: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_297350/ (Дата обращения: 01.07.2019)
7. Итоги деятельности государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» за 2017 год. Публичный годовой отчет. — 122 с.: <https://www.rosatom.ru/upload/iblock/e5d/e5d0fefbd69c8d8a779ef817be2a63d0.pdf> (Дата обращения: 01.07.2019)
8. AccountAbility. AA1000 Accountability Principles Standard. — 2008. — 21 с.: <https://www.accountability.org/wp-content/uploads/2018/05/AA1000APS-2008.pdf> (Дата обращения: 01.07.2019)
9. AccountAbility. AA1000 Stakeholder Engagement Standard. Revision for Public Comment. — 2015. — 40 с.: https://www.accountability.org/wp-content/uploads/2016/10/AA1000SES_2015.pdf (Дата обращения: 01.07.2019)
10. Репин, Л.В. Проблемы риск-коммуникации при обеспечении радиационной безопасности населения: основные понятия и определения / Л.В. Репин, А.М. Библин, Н.М. Вишнякова // Радиационная гигиена. — 2018. — Т. 11, №. 3. — С. 83-91.
11. Здоровье и окружающая среда: принципы коммуникации риска. -Копенгаген: Европейское региональное бюро ВОЗ, 2013. — 68 с.
12. Библин, А.М. Модель риск-коммуникации с населением по вопросам радиационной безопасности и проведение на её основе научных исследований / А.М. Библин // Радиационная гигиена. — 2019. — Т. 12, №. 1. — С. 74-84.
13. Ядов, В.А. Социологическое исследование: методология, программа, методы / В.А. Ядов. — М.: Наука, 1972. — 240 с.
14. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP, 1991, 21, 90 p.
15. Архангельская, Г.В. Гигиеническое обучение вопросам радиационной безопасности лиц из групп риска населения, подверженных повышенным уровням радиационного воздействия: методические рекомендации / Г.В. Архангельская, И.А. Зыкова, О.А. Теодорович. — Утв. заместителем Главного государственного санитарного врача РФ 24 марта 2006 г. — 20 с.
16. Архангельская, Г.В. Санитарно-просветительская работа среди населения, проживающего на радиоактивно-загрязненных территориях, по преодолению последствий радиационного воздействия на современном этапе: методические рекомендации / Г.В. Архангельская, И.А. Зыкова. — Утв. заместителем Главного государственного санитарного врача РФ 25 марта 2005 г. — 30 с.
17. Архангельская, Г.В. Методические подходы к информационной защите населения на основе представлений о социальной приемлемости радиационного риска: пособие для специалистов служб Роспотребнадзора / Г.В. Архангельская, И.А. Зыкова, С.А. Зеленцова // Радиационная гигиена. — 2010. — Т. 3, № 1. — С. 60-64.
18. Архангельская, Г.В. Информационная работа с населением по вопросам радиационной безопасности в районах размещения особых радиоактивных отходов, образовавшихся в результате проведения мирных ядерных

взрывов: Пособие для специалистов Роспотребнадзора / Г.В. Архангельская, В.С. Репин, В.П. Рамзаев, Е.В. Храпцов, С.А. Зеленцова, К.В. Варфоломеева, Ю.Н. Гончарова. – 2015 – 38 с.

19. Ng K.H., Lean M.L. The Fukushima nuclear crisis reemphasizes the need for improved risk communication and better use of social media. Health physics, 2012, Vol. 103, №. 3, pp. 307-310.

Поступила: 23.08.2019 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, Санкт-Петербург, Россия

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

Вишнякова Надежда Михайловна – доктор медицинских наук, заместитель директора по научной работе Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Соколов Николай Викторович – кандидат социологических наук, доцент Санкт-Петербургского государственного университета, Санкт-Петербург, Россия

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

Для цитирования: Репин Л.В., Библин А.М., Вишнякова Н.М., Соколов Н.В., Давыдов А.А. Проблемы риск-коммуникации: методические подходы к использованию социологических данных в планировании информационной работы с населением по вопросам радиационной безопасности // Радиационная гигиена. – 2019. – Т. 12, № 3. – С. 50-57. DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-3-50-57

Problems of risk communication: methodological approaches to the use of sociological data in planning of information work with the population on radiation safety issues

Leonid V. Repin¹, Artem M. Biblin¹, Nadezhda M. Vishnyakova¹, Nikolay V. Sokolov², Artem A. Davydov¹

¹ 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

² Saint -Petersburg State University, The Government of the Russian Federation, Saint-Petersburg, Russia

Publications of the IAEA, ICRP, the Decree of the President of the Russian Federation of October 13, 2018 No. 585 "On the Approval of the Basic Principles of State Policy of the Russian Federation in the Field of Nuclear and Radiation Safety until 2025 and beyond" emphasize the increasing role of public in decision-making in the use of ionizing radiation. Sociological research is a part of the preparatory stage in the organization of interaction with stakeholders. During that stage, the participants in the information interaction (stakeholders) have an opportunity to study each other's attitudes, so that the interaction is as constructive as possible. Sociological studies allow to determine the positions of stakeholders on the subject of risk communication at the initial stage of the process, in the implementation of decisions and in assessing the effectiveness of risk communication. The basis of the sociological study is the program. In forming a sociological research program, it is necessary to pre-identify important factors that can influence the attitude to a particular management decision of different stakeholders. The main purpose of the sociological research is to study the range of opinions and features of perception of the planned management decision by various participants in the process of risk communication. In assessing sociological research, one of the main tasks is to determine the nature of possible contradictions in the positions of the stakeholders, which largely determines the willingness of the interested parties to dialogue. In the consensus risk communication, the results of sociological research are useful in the formation of three sections of information materials: general information about the event, benefit assessment, and threat assessment.

Key words: risk communication on radiation safety issues, nuclear industry, stakeholders, sociological research, sociological research program, risk attitudes, management decisions.

Artem M. Biblin

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

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

References

1. NSAG Series No. 20 INSAG-20 Stakeholder Involvement in Nuclear Issues. IAEA, Vienna, 2015, 21 p. (In Russian)
2. Cho K.W. [et al.] ICRP Publication 138: Ethical Foundations of the System of Radiological Protection. Annals of the ICRP, 2018, Vol. 47, № 1, pp. 1-65.
3. Sudas L.G. Business for Sustainable Development. E-journal. Public Administration, 2017, № 64, pp. 241–262. (In Russian)
4. Rosatom. Results for Sustainable Development. 2017, 2018, 17 p. – Available on: <https://www.rosatom.ru/upload/iblock/718/718e4d355dded4d8825093c1f0763274.pdf> (Accessed: 01.07.2019) (In Russian)
5. Karpov A.S. The forms of public participation in a decision-making process. Moscow, RANEP, 2012, 115 p. (In Russian)
6. The order of the state Corporation «Rosatom» from 14.04.2015 N 1/364-P (edited on 27.04.2017) «On approval of the Unified industry anti-corruption policy of the State Corporation for atomic energy «Rosatom» and its organizations and Unified industry methodical guidelines on the assessment of corruption risks in organizations of the state Corporation for atomic energy «Rosatom». – Available on: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_297350/ (Accessed: 01.07.2019) (In Russian)
7. Performance of State Atomic Energy Corporation Rosatom in 2017. Public Annual Report, 122 p. – Available on: <https://www.rosatom.ru/upload/iblock/e5d/e5d0fefbd69c8d8a779ef817be2a63d0.pdf> (Accessed: 01.07.2019) (In Russian)
8. AccountAbility. AA1000 Accountability Principles Standard, 2008, 21 p. -Available on: <https://www.accountability.org/wp-content/uploads/2018/05/AA1000APS-2008.pdf> (Accessed: 01.07.2019)
9. AccountAbility. AA1000 Stakeholder Engagement Standard. Revision for Public Comment, 2015, 40 p. – Available on: <https://www.rosatom.ru/upload/iblock/718/718e4d355dde4d8825093c1f0763274.pdf> (Accessed: 01.07.2019)
10. 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)
11. Health and environment: communicating the risks. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe, 2013, 68 p. (In Russian).
12. Biblin A.M. Development of the model of radiation risk-communication with the public for the arrangement of the research. Radiatsionnaya Gygiyena = Radiation Hygiene, 2019, Vol. 12, No. 1, pp.74-84. (In Russian)
13. Yadov V.A. The Sociological Survey (Methodology, Program, Methods). Moscow, Science, 1972, 240 p. (In Russian)
14. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP, 1991, 21, 90 p.
15. Arkhangelskaya G.V., Zykova I.A., Teodorovich O.A. Hygienic training in radiation protection of individuals at high risk groups exposed by radiation: guidelines. Approved by the Deputy Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation March 24, 2006, 20 p. (In Russian)
16. Arkhangelskaya G.V., Zykova I.A. Sanitary and educational work among the population living in radioactive contaminated areas to overcome the consequences of radiation exposure at the present stage: guidelines. Approved by the Deputy Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation March 25, 2005, 30 p. (In Russian)
17. Arkhangelskaya G.V., Zykova I.A., Zelentsova S.A. Methodological approaches to information protection of the population on the basis of ideas about the social acceptability of radiation risk: Guide for specialists of Rospotrebnadzor. Radiatsionnaya Gygiyena = Radiation Hygiene, 2010, Vol. 3, № 1, pp. 60-64 (In Russian)
18. Arkhangelskaya G.V., Repin V.S., Ramzaev V.P., Khrantsov E.V., Zelentsova S.A., Varfolomeeva K.V., Goncharova Yu.N. Information work with the population on radiation safety issues in the areas of special radioactive waste generated as a result of peaceful nuclear explosions: Guide for specialists of Rospotrebnadzor, 2015, 38 p. (In Russian)
19. Ng K.H., Lean M.L. The Fukushima nuclear crisis reemphasizes the need for improved risk communication and better use of social media. Health physics, 2012, Vol. 103, № 3, pp. 307-310.

Received: August 23, 2019

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, Saint-Petersburg, Russia

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

Nadezhda M. Vishnyakova – Doctor of Medical Sciences, Deputy Director, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

Nikolay V. Sokolov – Candidate of Sociological Science, Assistant Professor, St. Petersburg State University, St. Petersburg, The Government of the Russian Federation, Saint-Petersburg, Russia

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

For citation: Repin L.V., Biblin A.M., Vishnyakova N.M., Sokolov N.V., Davydov A.A. Problems of risk communication: methodological approaches to the use of sociological data in planning of information work with the population on radiation safety issues. Radiatsionnaya gygiyena= Radiation Hygiene, 2019, Vol. 12, No. 3, pp.50-57. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-3-50-57

Радиационная обстановка на территории проведения мирного ядерного взрыва «Глобус-1» после выполнения реабилитационных работ

Е.В. Храмцов

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 статье приводятся данные о радиационной обстановке по результатам исследований 2018 г. на территории, прилегающей к месту проведения мирного ядерного взрыва «Глобус-1» после реабилитационных работ (2014–2015 гг.), выполненных с целью удаления аварийного загрязнения. Рассмотрены результаты анализа динамики изменений радиационной обстановки за период с 2008 по 2018 г. и дана оценка эффективности реабилитационных работ по основным показателям: значения мощности дозы, содержание техногенных радионуклидов в почве, воде и других объектах окружающей среды. По результатам сопоставления количества измерений с превышением мощности дозы 50 нЗв/час (фоновое значение для территории за пределами загрязнения 2014 г.) в выборках 2014 и 2018 гг. установлено, что из 80% случаев превышений, зафиксированных в 2014 г., доля превышений в 2018 г. составила только 3%. Другой показатель эффективности связан с особенностью реабилитации данного объекта. Большое количество низкоактивного грунта было нецелесообразно вывозить на захоронение, и решение об использовании этого грунта в качестве нижнего слоя рекультивации было оправданным. Результаты исследований показали, что в спектральном составе гамма-фона на реабилитированной территории интенсивность пиков цезия-137 многократно превышает фоновые уровни. В отобранных пробах почвы зафиксированы повышенные концентрации цезия-137 (до 32 500 Бк/кг на сухой вес), а в собранных на такой почве пробах травы имеются повышенные концентрации цезия-137 (до 2000 Бк/кг) и стронция-90 (до 400 Бк/кг) в расчете на сухой вес. Все повышенные уровни удельной активности цезия-137 обнаружены на локальных участках, в пределах контура радиоактивного загрязнения, выделенного в 2014 г. После проведения реабилитационных работ произошло существенное снижение уровней внешнего облучения техногенными радионуклидами, и по формальному признаку выполненные реабилитационные работы обеспечили требование СанПиН 2.6.1. 2819-10, и доза облучения не превышает 0,3 мЗв/год, однако высокие значения мощности дозы, зафиксированные в отдельных точках на рекультивированной территории, свидетельствуют о незавершенности и недостаточном качестве выполненных реабилитационных работ.

Ключевые слова: мирный ядерный взрыв, радионуклиды, радиоактивное загрязнение, окружающая среда, дозы облучения, радиационная безопасность.

Введение

Исследования состояния радиационной обстановки на территории, прилегающей к месту проведения мирного ядерного взрыва (МЯВ) «Глобус-1», выполнены специалистами ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева в 2008, 2014 и 2018 гг. в рамках реализации мероприятий Федеральных целевых программ «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года» и «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016–2020 годы и на период до 2030 года», результаты которых представлены в научных отчетах и публикациях [1–6]. Эта статья является логическим продолжением статьи «Радиационная обстановка на территории проведения мирного ядерного взрыва «Глобус-1» до вы-

полнения реабилитационных работ», где были изложены сведения о взрыве и дана оценка радиационной обстановки перед выполнением реабилитационных работ [7]. В 2014–2015 гг. на объекте «Глобус-1» были выполнены реабилитационные работы, включавшие выемку и вывоз на захоронение высокоактивного грунта и использование низкоактивного грунта в качестве нижнего слоя рекультивации с последующей засыпкой этого слоя чистым грунтом [9–11].

В статье представлены данные о радиационной обстановке по результатам исследований 2018 г. на территории, прилегающей к месту проведения мирного ядерного взрыва «Глобус-1» после реабилитационных работ (2014–2015 гг.), выполненных для удаления аварийного загрязнения.

Храмцов Евгений Витальевич

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

Адрес для переписки: 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: zhenia.khramtsov2013@yandex.ru

Цель исследования – дать сравнительный анализ показателей радиационной обстановки на территории, прилегающей к месту проведения мирного ядерного взрыва «Глобус-1» до и после проведения реабилитационных работ, и сформулировать предложения по долгосрочному обеспечению радиационной безопасности и критериев, необходимых для перевода объекта в состояние консервации.

Задачи исследования

1. Исследование состояния радиационной обстановки после реабилитации.
2. Оценка эффективности реабилитационных работ.
3. Анализ необходимых и достаточных условий долгосрочного обеспечения радиационной безопасности населения и перевода объекта «Глобус-1» в состояние консервации.

Материалы и методы

Радиационно-гигиеническое обследование территории, прилегающей к месту проведения МЯВ, проводилось по стандартной схеме [1, 2], которая включала в себя определение географических координат специфических элементов ландшафта, точек измерений и отбора проб с использованием спутниковых навигаторов: измерение мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения, идентификация гамма-излучающих радионуклидов *in situ* методом полевой гамма-спектрометрии [8], отбор проб верхнего (на глубину до 20 см) слоя почвы, воды, природных пищевых продуктов (грибов, ягод), а также других объектов окружающей среды, фото- и видео-съемку.

Результаты и обсуждение

При планировании исследований, выполненных в 2018 г. после проведения реабилитационных мероприятий, учитывались данные измерений мощности дозы, полученные в 2014 г. [7]. Эти данные в виде изолиний мощности дозы и местоположения точек измерений были нанесены картографическими средствами на спутниковую карту (рис. 1).



Рис. 1. Спутниковая карта территории объекта «Глобус-1» с точками измерений мощности дозы внешнего гамма-излучения, выполненными в 2018 г., и изолиниями мощности дозы. Синим цветом выполнена обводка русла реки Шача

[Fig. 1. Satellite Map site «Globus-1» with points of measurement of external dose rate of gamma-radiation, made in the year 2018, and the contour dose. Blue completed stroke river Shacha]

Прямоугольным контуром на рисунке 1 отмечено пятно наибольшего радиоактивного загрязнения. Этот ареал использован для сравнения средних значений мощности дозы в 2014 и 2018 гг., полученных по результатам измерений в точках, находящихся внутри контура.

Общее число измерений, выполненных в 2018 г., было больше за счет точек, находящихся за пределами ареала измерений, выполненных в 2014 г. [7]. Расширение ареала измерений связано с необходимостью уточнения радиационной обстановки за пределами ареала измерений 2014 г., и поиском возможных пятен загрязнения, которые могли образоваться в процессе выполнения реабилитационных работ и вывозом высокоактивной почвы на захоронение. При этом следует обратить внимание, что пятно повышенных уровней мощности дозы внешнего гамма-излучения в результате проведения в 2018 г. реабилитационных работ практически исчезло, но остались небольшие пятна повышенных значений мощности дозы. Сравнение частотных распределений мощности дозы в ареале радиоактивного загрязнения, зафиксированного в 2014 г. и в том же ареале в 2018 г., представлено на рисунке 2.

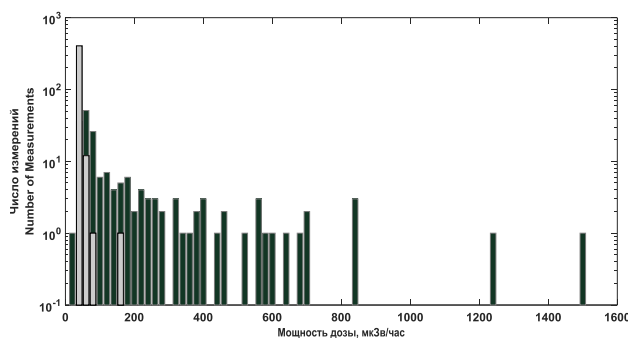


Рис. 2. Сопоставление частотных распределений мощности дозы внешнего гамма-излучения в 2014 г. (черный цвет) и 2018 г. (серый цвет) («Глобус-1»)

[Fig. 2. Comparison of the frequency distributions of gamma dose rate in 2014 (black color) and 2018 (gray color) («Globus-1»)]

Исследования спектрального состава гамма-поля в 2018 г. выполнено в точках внутри ареала радиоактивного загрязнения до реабилитации территории и в точках с фоновыми значениями мощности дозы за пределами ареала. Места измерений спектров представлены на рисунке 3.



Рис. 3. Места полевой гамма-спектрометрии («Глобус-1» (2018))

[Fig. 3. The sites of in situ gamma-spectrometry («Globus-1» (2018))]

На рисунке 4 даны примеры характерного фоновой спектра и спектра, измеренного после реабилитации территории в точке, расположенной в пределах ареала радиоактивного загрязнения 2014 г.

В таблице 1 даны значения интенсивности счета под пиками ^{137}Cs и ^{40}K соответственно.

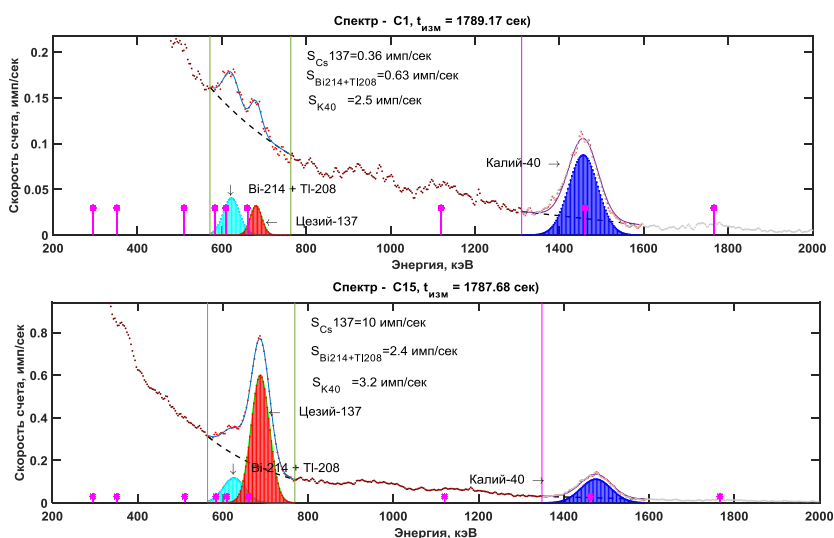


Рис. 4. Фоновый спектр (вверху) и на площадке «Глобус-1» после реабилитации (снизу)
[Fig. 4. A background spectrum (top) and a spectrum after rehabilitation "Globus-1" (bottom)]

Таблица 1

Результаты спектрометрических измерений гамма-поля на территории, прилегающей к месту проведения МЯВ «Глобус-1», в 2018 г.

[Table 1]

Results of spectrometric measurements of gamma field in the territory adjacent to the PNE "Globus-1", 2018]

Код спектра [Code range]	Интенсивность счета под пиком [Intensity of the accounts under peak]		Код спектра [Code range]	Интенсивность счета под пиком [Intensity of the accounts under peak]	
	^{137}Cs , имп/с [IMP]	^{40}K , имп/с [IMP]		^{137}Cs , имп/с [IMP]	^{40}K , имп/с [IMP]
Сп_01	0.36*	2,5	Сп_13	150	2,6
Сп_02	0.28*	3,2	Сп_14	13	2,6
Сп_03	0.59*	2,2	Сп_15	10	3,2
Сп_04	42	2,3	Сп_16	17	2,5
Сп_05	76	2,4	Сп_17	1,4	2,2
Сп_06	8	2,0	Сп_18	2	3,0
Сп_07	11	2,4	Сп_19	0,9	3,7
Сп_08	6,2	2,3	Сп_20	5	2,4
Сп_09	270	2,4	Сп_21	10,4	3,4
Сп_10	11	2,6	Сп_22	3,9	2,9
Сп_11	120	2,7	Сп_23	140	2,4
Сп_12	0,6	2,7	Сп_24	36	2,1

* – Выделены строки с фоновыми значениями мощности дозы
[* – Allocated strings with the background dose rate values]

Видно, что интенсивности под пиком ^{40}K отличаются незначительно, тогда как интенсивность пиков ^{137}Cs в пределах контура загрязнения, выделенного в 2014 г., превосходят фоновые уровни, и иногда значительно (Сп_09, Сп_11, Сп_13, Сп_23 и Сп_24). Это значит, что гамма-излучение ^{137}Cs нижнего слоя рекультивации проникает

через слой чистой засыпки, а в отдельных точках чистый слой рекультивации, возможно, отсутствует.

На рисунке 5 показаны места отбора проб почвы в 2018 г., а в таблице 2 представлены результаты измерений содержания ^{137}Cs .



Рис. 5. Места отбора проб почвы растительности в 2018 г. на территории, прилегающей к месту проведения МЯВ «Глобус-1»
[Fig. 5. Place the soil vegetation sampling in the territory adjacent to the PNE "Globus-1", 2018] (In Fig – Почва – means Soil)]

Как видно из таблицы 2, значение удельной активности ^{137}Cs в почве находилось в широком диапазоне – от единиц измерения Бк/кг до 32 500 Бк/кг на сырой вес. При этом важно отметить, что все повышенные уровни удельной активности ^{137}Cs обнаружены на локальных участках, в пределах контура радиоактивного загрязнения, выделенного в 2014 г.

Ведущим фактором, определяющим уровни содержания радионуклидов в травяной растительности, грибах и ягодах, является загрязнение почвы, на которой они произрастают. Результаты измерений содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в пробах растительности даны в таблице 3.

Таблица 2

Значения удельной активности цезия-137 в пробах почвы, отобранных на территории МЯВ «Глобус-1» в 2018 г., Бк/кг

[Table 2

Value of activity concentration of cesium-137 in soil samples taken from the territory of the PNE "Globus-1" in 2018, Bq/kg]

Код пробы [code samples]	Координаты, град [Coordinates, degrees]		Удельная активность ^{137}Cs , Бк/кг [Activity concentration ^{137}Cs , Bq/kg]
	Северная широта [N]	Восточная долгота [E]	
ПОЧВА 1	57,5083	42,6345	2,7±1,1
ПОЧВА 2	57,5081	42,6353	1490±170
ПОЧВА 3	57,5080	42,6352	1220±150
ПОЧВА 4	57,5082	42,6349	7,5±1,6
ПОЧВА 5	57,5082	42,6350	4,9±1,2
ПОЧВА 6	57,5082	42,6362	17,1±3,3
ПОЧВА 7	57,5081	42,6360	145±18
ПОЧВА 8	57,5082	42,6351	50,8±6,7
ПОЧВА 9	57,5076	42,6348	32500±3600
ПОЧВА 10	57,5074	42,6353	26,4±4,3
ПОЧВА 11	57,5074	42,6353	95,4±14,5
ПОЧВА 12	57,5074	42,6355	6680±750
ПОЧВА 13	57,5081	42,6336	<0,9
ПОЧВА 14	57,5073	42,6355	1140±140
ПОЧВА 15	57,5080	42,6356	2690±300
ПОЧВА 16	57,5080	42,6353	812±94
ПОЧВА 17	57,5080	42,6330	14,2±1,7
ПОЧВА 18	57,5073	42,6317	15,0±2,9
ПОЧВА 19	57,5073	42,6317	4,5±0,6

Выделены строки с повышенными уровнями удельной активности цезия-137 в пробах почвы.

[Allocated string with elevated levels of specific activity of cesium-137 in soil samples] (In Table – Почва – means Soil)].

Таблица 3

Удельные активности цезия-137 и стронция-90 в пробах пищевых продуктов и траве, отобранных на территории объекта «Глобус-1» в 2018 г., Бк/кг

[Table 3]

Activity concentrations of cesium-137 and strontium-90 in samples of foodstuffs and grass collected at the site "Globus-1" in 2018, Bq/kg

Код пробы [code samples]	Координаты, град [Coordinates, degrees]		Удельная активность, Бк/кг [Activity concentration, Bq/kg]	
	Северная широта [N]	Восточная долгота [E]	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr
Грибы [mushrooms]				
Грибы трубчатые [mushroom tube]	57,5073	42,6319	3,70±1,48	0,86±0,34
Грибы пластинчатые [agarics]	57,5080	42,6330	2,54±1,02	1,23±0,49
Ягоды [berries]				
ЧЕРНИКА-1*	57,5068	42,6309	0,48±0,14	0,09±0,03
ЗЕМЛЯНИКА-1	57,5084	42,6355	5,30±2,12	1,30±0,52
МАЛИНА-1	57,5087	42,6327	5,87±1,76	0,22±0,07
МАЛИНА-2	57,5066	42,6382	0,32±0,10	0,34±0,10
МАЛИНА-3	57,5070	42,6366	3,68±1,10	1,73±0,52
МАЛИНА-4	57,5070	42,6343	0,50±0,20	0,68±0,27
Трава [grass]				
ТРАВА -1	57,5077	42,6350	7,09±2,13	4,29±1,29
ТРАВА -2	57,5080	42,6352	10,3±3,1	76±23
ТРАВА-3	57,5082	42,6362	2,11±0,63	2,49±0,75
ТРАВА-4	57,5081	42,6360	10,7±3,2	13,0±3,9
ТРАВА-5	57,5082	42,6351	410±100	54±14
ТРАВА-6	57,5076	42,6348	2020±510	217±54
ТРАВА-7	57,5075	42,6349	680±170	110±28
ТРАВА-8	57,5074	42,6353	414±100	413±100
ТРАВА-9	57,5074	42,6355	200±50	140±35
ТРАВА-10	57,5073	42,6355	28,7±7,2	13,1±3,3
ТРАВА-11	57,5080	42,6353	21,3±5,3	20,0±5,0

*ЧЕРНИКА – Blueberries; ЗЕМЛЯНИКА – Wild strawberry; МАЛИНА – Raspberries; ТРАВА – Grass.

Удельная активность травянистой растительности на объекте «Глобус-1» достигала 2020 Бк/кг по цезию-137 и 413 Бк/кг по стронцию-90 в расчете на сухой вес (см. табл. 3). Уровни загрязнения проб грибов ¹³⁷Cs намного ниже предела, регламентируемого СанПиН-2.3.2.1078–01 и Едиными санитарно-эпидемиологическими и гигиеническими требованиями к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю) (500 Бк/кг по сырому весу). Очень низким было и содержание ⁹⁰Sr в ягодах – существенно меньше регламентируемого предела – 60 Бк/кг (влажные пробы).

Соотношение удельных активностей цезия-137 в почве и траве после реабилитации территории представлено на рисунке 6.

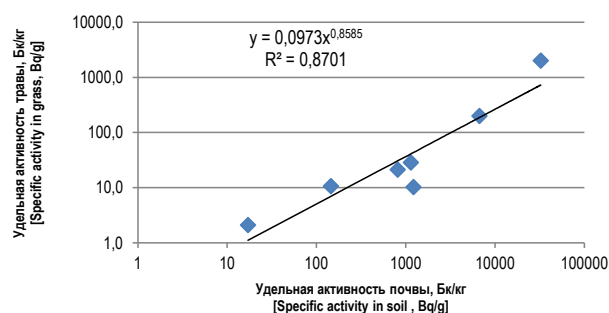


Рис. 6. Соотношение удельных активностей цезия-137 в почве и траве на территории «Глобус-1»

[Fig. 6. Ratio of the activity concentrations of caesium-137 in soil and grass on the territory «Globus-1»]

Наблюдается удовлетворительная связь ($R^2=0.87$) между уровнями загрязнения почвы и травы цезием-137 (см. рис. 6). Повышенные уровни загрязнения травы свидетельствуют о том, что слой чистой засыпки недостаточен и корни растительности могут достигать нижнего слоя засыпки низкоактивным грунтом.

Для изучения уровней загрязнения воды техногенными радионуклидами были отобраны пробы воды для последующего радиохимического анализа содержания

^{137}Cs и ^{90}Sr в реке Шача, на территории около места проведения взрыва и из колонки в д. Норское. Наряду с анализом ^{137}Cs и ^{90}Sr в 6 пробах воды, были отобраны также 23 пробы для определения удельной активности трития. В таблицах 4 и 5 представлены результаты анализа удельной активности техногенных радионуклидов в пробах воды, отобранных из источников, расположенных на территории, прилегающей к месту проведения МЯВ «Глобус-1».

Таблица 4

Удельная активность цезия-137 и стронция-90 в пробах воды, отобранных на территории, прилегающей к месту проведения МЯВ «Глобус-1», Бк/кг

[Table 4]

Activity concentrations of cesium-137 and strontium-90 in water samples taken from the area adjacent to the site of the PNE «Globus-1» Bq/kg

Код пробы [code samples]	Координаты, град [Coordinates, degrees]		Удельная активность*, Бк/кг [Activity concentration*, Bq/kg]		Примечание [Note]
	Северная широта [N]	Восточная долгота [E]	^{137}Cs	^{90}Sr	
PX 1	57,5079	42,6331	0,048±0,024	0,012±0,006	Река Шача [R. Shacha]
PX 2	57,5083	42,6328	0,004±0,002	0,018±0,009	
PX 3	57,5073	42,6334	0,010±0,005	0,010±0,005	
PX 4	57,5079	42,6330	0,004±0,002	0,006±0,003	Колонка (д. Норское) [column (d. Norsкое)]
PX 5	57,5081	42,6360	0,010±0,005	0,012±0,006	Труба с водой (территория МЯВ) [Pipe with water (PNE)]
PX 6	57,5084	42,6352	0,004±0,002	0,030±0,015	Болото (территория МЯВ) [Swamp (PNE)]
Гигиенический критерий ** [Hygiene criterion (HC) **]			11	4,9	

* Погрешность измерений указана с доверительной вероятностью 95%.

[* Measurement uncertainty is given at 95% confidence probability].

Таблица 5

Удельная активность трития в пробах воды, отобранных на территории, прилегающей к месту проведения МЯВ «Глобус-1», Бк/кг

[Table 5]

Activity concentration of tritium in water samples taken from the area adjacent to the venue of the PNE «Globus-1», Bq/kg

Код пробы [code samples]	Координаты, град [Coordinates, degrees]		Удельная активность $^3\text{H}^*$, Бк/кг [Specific activity $^3\text{H}^*$, Bq/kg]	Примечание [Note]
	Северная широта [N]	Восточная долгота [E]		
TP 13	57,5083	42,6328	<2,0	Река Шача [R. Shacha]
TP 14	57,5073	42,6334	<2,0	
TP 15	57,5079	42,6330	<2,0	
TP24	57,5066	42,6362	<2,0	
TP25	57,5065	42,6364	<2,0	
TP26	57,5064	42,6371	<2,0	
TP27	57,5067	42,6392	<2,0	
TP28	57,5063	42,6349	<2,0	
TP 30	57,5079	42,6331	<2,0	

Код пробы [code samples]	Координаты, град [Coordinates, degrees]		Удельная активность $^3\text{H}^*$, Бк/кг [Specific activity $^3\text{H}^*$, Bq/ kg]	Примечание [Note]
	Северная широта [N]	Восточная долгота [E]		
TP 21	57,5081	42,6360	<2,0	Труба с водой (территория МЯВ) [Pipe with water (PNE)]
TP18	57,5070	42,6329	<2,0	Лужа (территория МЯВ) [Puddle (PNE)]
TP19	57,5082	42,6349	2,6±1,1	Лужа (территория МЯВ) [Puddle (PNE)]
TP22	57,5074	42,6355	<2,0	Лужа (территория МЯВ) [Puddle (PNE)]
TP23	57,5074	42,6355	<2,0	Труба с водой (территория МЯВ) [Pipe with water (PNE)]
TP 29	57,5084	42,6352	2,0 ± 1,0	Лужа (территория МЯВ) [Puddle (PNE)]
TP16	57,5079	42,6329	3,4±1,2	Лужа (вне террито- рии МЯВ) [Puddle (outside the PNE)]
TP17	57,5081	42,6307	<2,0	Лужа (вне территории МЯВ) [Puddle (outside the PNE)]
TP20	57,5087	42,6339	<2,0	Болото (вне территории МЯВ) [Swamp (outside the PNE)]
TP11	57,4268	42,5455	2,1±1,1	Река Волга [R. Volga]
TP12	57,4456	42,5492	3,9±1,3	Колонка (д. Норское) [column (d. Norskoe)]
TP31	57,5079	42,6331	2,1±1,2	Вода родниковая (д. Галкино) [water spring (d. Galkino)]
TP36	57,0144	40,9811	<2,0	Водопровод (г. Иваново)
TP48	56,9730	40,9667	<2,0	[Plumbing (Ivanovo)]
Гигиенический критерий ** [Hygiene criterion **]			7600	

* Погрешность измерений указана с доверительной вероятностью 95%

[* Measurement accuracy is 95% confidence probability]

** Значения гигиенического критерия приведены в соответствии с Приложением 2а НРБ 99/2009

[** Hygienic criteria values are in accordance with the annex 2a NRB 99/2009]

Во всех пробах воды, отобранных на территории объекта «Глобус-1», из реки Шача и из населенных пунктов, удельные активности техногенных радионуклидов были существенно ниже уровней вмешательства для питьевой воды, установленных в НРБ-99/2009 (табл. 5 и 6).

Изменение радиационной обстановки на территории, прилегающей к объекту «Глобус-1» за период с 2008 по 2018 г. и оценка эффективности реабилитационных мероприятий

Выполненные в 2008, 2014 и 2018 гг. исследования радиационной обстановки на территории, прилегающей к месту проведения МЯВ «Глобус-1», позволяют констатировать, что после проведения реабилитационных работ в 2014–2015 гг. произошло существенное снижение уровней внешнего облучения техногенными радионуклидами лиц, посещающих данную территорию [12].

Несмотря на существенное снижение средних и максимальных значений мощности дозы в 2018 г. представляет интерес выяснить причины, по которым в отдельных точках повышенные уровни все же встречаются.

Эффективность реабилитационных работ по критерию мощности дозы гамма-излучения можно выполнить путем сравнения в двух выборках значений мощности дозы, превышающих величину 50 нЗв/ч, – фоновое значение для территории за пределами загрязнения 2014 г. Результаты сопоставления даны в таблице 6.

Таблица 6

Изменение количества измерений с превышением мощности дозы 50 нЗв/ч в выборках 2014 и 2018 гг.

[Table 6]

Changes of the number of measurements exceeding the dose rate of 50 nSv/h in samples of 2014 and 2018

Год [Year]	Число измерений [Number of measurements]	Процент с превышением 50 нЗв/ч [Percentage in excess of 50 nSv/h]
2014	251	80
2018	419	3,3

Таким образом, по показателю мощности дозы очевиден эффект снижения, однако высокие значения мощности дозы в отдельных точках свидетельствуют о незавершенности и недостаточном качестве выполненных работ.

Другой показатель эффективности связан с особенностью реабилитации данного объекта. Большое количество низкоактивного грунта (более 2000 м³) было целесообразно вывозить на захоронение, и решение об использовании этого грунта в качестве нижнего слоя рекультивации было оправданным. Однако при принятии такого решения возникает вопрос о толщине верхнего слоя засыпки. Результаты исследований показывают, что в спектральном составе гамма-фона на реабилитированной территории видны пики цезия-137 (см. рис. 4, табл. 1), интенсивность которых многократно превышает фоновые уровни (см. табл. 1), а пробы почвы и травы, собранные на этой территории, имеют повышенные концентрации цезия-137 и стронция-90 (табл. 7).

Таблица 7

Значения удельной активности цезия-137 и стронция-90 в пробах почвы и травы, отобранных на территории, прилегающей к месту проведения взрыва МЯВ «Глобус-1», в 2008 и 2014 гг., Бк/кг

[Table 7]

Values of activity concentration of caesium-137 and strontium-90 in soil samples and herbs, selected in the territory adjacent to PNE blast “Globus-1”, in 2008 and 2014 respectively, Bq/kg

Год исследования [Year of study]	Удельная активность, Бк/кг [Activity concentration, Bq/kg]			
	¹³⁷ Cs		⁹⁰ Sr	
	Min	Max	Min	Max
Почва [soil]				
2014	0,02	133000	0,01	3400
2018	0,02	32500	0,01	90
Трава [grass]				
2014	14,4	384	10,2	245
2018	2,11	2020	2,49	217

Диапазон значений удельной активности техногенных радионуклидов, измеренных в пробах воды из источников, расположенных на территории, прилегающей к месту проведения МЯВ «Глобус-1» в 2008–2018 гг., представлен в таблице 8.

Таблица 8

Удельная активность техногенных радионуклидов в пробах воды из источников, расположенных на территории, прилегающей к месту проведения МЯВ «Глобус-1» (2008–2018), Бк/кг

[Table 8]

Activity concentration of man-made radionuclides in water samples from sources located in the territory adjacent to PNE “Globus-1” (2008–2018), Bq/kg

Год исследования [Year of study]	Удельная активность, Бк/кг [Activity concentration, Bq/kg]					
	¹³⁷ Cs		⁹⁰ Sr		³ H	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
2008	0,14	9900*	0,01	4800*	<2,0	8900*
2014	0,02	4300*	0,01	3300*	<2,0	5350*
2018	0,004	0,01	0,006	0,03	<2,0	3,9
Гигиенический критерий ** [Hygiene criterion**]	11		4,9		7600	

* Проба воды из исследовательской скважины, расположенной на территории, прилегающей к месту проведения МЯВ «Глобус-1»

[* sample water from wells located on the research area adjacent to PNE “Globus-1”]

** Значения гигиенического критерия приведены в соответствии с Приложением 2а НРБ 99/2009

[** Hygienic criteria values are in accordance with the annex 2a NRB 99/2009]

В пробах воды, отобранных в 2018 г. на территории объекта «Глобус-1», включая пробы воды из реки Шача и из населенных пунктов, удельные активности техногенных радионуклидов были существенно ниже уровней вмешательства для питьевой воды, установленных в НРБ-99/2009, и ниже значений, измеренных в 2008 и 2014 гг. (см. табл. 8). Отсутствует и поступление загрязненной техногенными радионуклидами воды из исследовательских скважин после их герметизации. Исследование содержания трития в воде как индикатора распространения техногенных радионуклидов показало, что удельная активность данного радионуклида в пробах воды из реки Шача, из реки Волга, из ближних и дальних населенных пунктов находятся в пределах колебаний уровней глобального загрязнения и в тысячи раз ниже уровней вмешательства.

Формально мероприятия по реабилитации обеспечили выполнение требований СанПиН 2.6.1. 2819-10, и доза облучения при консервативной оценке не превышает регламентируемую величину в 0,3 мЗв/год, однако, несмотря на существенное улучшение радиационной обстановки на объекте «Глобус-1», остается вопрос к качеству выполненных работ и техническому заданию, на основании которого данные работы выполнялись.

В настоящее время отсутствуют требования к территории охранной зоны к объекту размещения особых радиоактивных отходов, переводимого в состояние консервации. Этап консервации является продолжительным, прежде чем будет принято решение об окончательном захоронении особых РАО и снятия объекта с контроля. Этап консервации подразумевает продолжение периодического наблюдения за показателями радиационной обстановки в охранной зоне и источников питьевого водоснабжения.

Текущее состояние радиационной обстановки на объекте «Глобус-1» затрудняет ее адекватную оценку при последующем мониторинге за состоянием объекта и показателями радиационной обстановки в охранной зоне, поскольку после реабилитации имеют место превышения ряда показателей над фоновыми уровнями, которые при последующем мониторинге могут быть неверно истолкованы.

Выводы

На основании исследований состояния радиационной обстановки на территории, прилегающей к мирному ядерному взрыву «Глобус-1», после проведения реабилитационных работ получены следующие выводы:

1. Сопоставление показателей радиационной обстановки по мощности дозы внешнего гамма-излучения до и после проведения реабилитационных работ показало, что уровни мощности дозы существенно снизились. Осталось незначительное число точек, в которых мощность дозы заметно превышает фоновые уровни.

2. В спектральном составе излучений над территорией, подвергшейся реабилитации, интенсивность пиков цезия-137 заметно превышает фоновые уровни, что свидетельствует о недостаточной толщине чистой засыпки, частичном перемешивании слоя рекультивации со слоем чистой засыпки. Удельная активность проб почвы и травы, отобранных на реабилитированной территории, заметно превышает фоновые уровни.

3. По формальному признаку выполненные реабилитационные работы обеспечили требование СанПиН 2.6.1. 2819-10, и доза облучения не превышает 0,3 мЗв/год, однако качество реабилитационных работ является неудовлетворительным.

4. Оптимальными показателями радиационной обстановки на территории охранной зоны после реабилитации следует считать показатели, не превышающие фоновые уровни, обеспечивающие адекватную оценку состояния радиационной обстановки при последующем мониторинге.

Благодарности

Автор выражает свою благодарность Репину Виктору Степановичу (ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева) за помощь в анализе и обработке данных, а также сотрудникам ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева: Рамзаеву Валерию Павловичу, Кадука Марине Валерьевне, Иванову Сергею Анатольевичу, Варфоломеевой Ксении Владимировне, Библину Артему Михайловичу за возможность использовать совместно полученные данные.

Литература

1. Рамзаев, В.П. Мирные ядерные взрывы: проблемы и пути обеспечения радиационной безопасности / В.П. Рамзаев, Е.В. Храмцов // Радиационная гигиена. – 2009. – Т.2, №2. – С. 27-33.
2. Рамзаев, В.П. Радиационно-гигиенический мониторинг в местах применения ядерно-взрывных технологий в мирных целях и расчет доз облучения критических групп населения / В.П. Рамзаев [и др.] // Радиационная гигиена. – 2010. – Т.3, №1. – С. 33-39.
3. Научно-методическое сопровождение работ по обеспечению радиационной безопасности населения на территориях в местах применения ядерно-взрывных технологий в мирных целях: Отчет о научно-исследовательской работе. № ИКРБС 02201457300. Фонды ФБУН НИИРГ, 2014. – 164 с.
4. Радиационно-гигиеническое обследование территорий, прилегающих к местам проведения мирных ядерных взрывов, сопровождавшихся выходом на поверхность радионуклидов, и разработка критериев и условий обеспечения безопасности населения: Отчет о научно-исследовательской работе. № ИКРБС 02.2.00950764. Фонды ФГУН НИИРГ, 2008. – 183 с.
5. Храмцов, Е.В. Радиационная обстановка в районе проведения мирного ядерного взрыва «Глобус-1» перед выполнением реабилитационных мероприятий в 2014 г. / Е.В. Храмцов [и др.] // В книге: Чернобыль – 30 лет спустя. Радиационно-гигиенические аспекты преодоления последствий аварии на ЧАЭС. Сб. тез. междунар. науч.-практ. конф., 2016. – С. 188-190.
6. Храмцов, Е.В. Радиационно-гигиеническая оценка территорий, прилегающих к местам проведения мирных ядерных взрывов / Е.В. Храмцов [и др.] // Современные проблемы радиационной медицины: от науки к практике (г. Гомель, 26-27 апреля 2018 г.): Матер. междунар. науч.-практ. конф. / Под общ. ред. д.м.н., доц. А.В. Рожко. – Гомель, ГУ «Республиканский научно-практический центр радиационной медицины и экологии человека», 2018. – С. 81-82.
7. Храмцов, Е.В. Радиационная обстановка на территории проведения мирного ядерного взрыва «Глобус-1» до выполнения реабилитационных работ / Е.В. Храмцов // Радиационная гигиена. – 2019. – Т. 12, №2. – С. 81-87.
8. International Commission on Radiation Units and Measurements: Report 53. Gamma-ray spectrometry in the environment / ICRU, 1994.

9. Сайт Международного общественного форума-диалога и выставки «АтомЭко 2017»: <http://www.atomeco.org/mediafiles/u/files/2015/Materials/Kamornyj.pdf> (дата обращения: 13.03.2019)
10. 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.
11. Касаткин, В.В. Экологическая реабилитация объектов использования мирных подземных ядерных взрывов / В.В. Касаткин [и др.] // Вестник РАЕН. – 2018. – Т. 18, № 1. – С. 8-12.
12. Репин, В.С. Радиационно-гигиеническая оценка территории, прилегающей к месту проведения мирного ядерного взрыва «Глобус-1» после выполненных реабилитационных мероприятий / В.С. Репин [и др.] // В книге: Актуальные вопросы радиационной гигиены. Матер. междунар. науч.-практ. конф., 2018. – С. 222-225.

Поступила: 30.05.2019 г.

Храмцов Евгений Витальевич – научный сотрудник лаборатории экологии Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. **Адрес для переписки:** 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: zhenia.khramtzov2013@yandex.ru

Для цитирования: Храмцов Е.В. Радиационная обстановка на территории проведения мирного ядерного взрыва «Глобус-1» после выполнения реабилитационных работ // Радиационная гигиена. – 2019. – Т.12, № 3 – С. 58-68. DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-3-58-68

Radiation situation on the territory of the peaceful nuclear explosion «Globus-1» after performing the rehabilitation works

Evgeniy V. Khramtsov

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

The article provides data on the radiation situation on the research of the year 2018 territory adjacent to the site of the peaceful nuclear explosion "Globus-1" after carrying out rehabilitation works (2014-2015), made with the purpose of removal accidental contamination. We analyzed the dynamics of radiation situation during the period from 2008 to 2018 year and assessed the effectiveness of rehabilitation works on basic indicators: the values of the dose of technogenic radionuclides content in soil, water and other objects the environment. According to the results of comparing the number of measurements exceeding the dose rate of 50 nSv/h (background value for outside contamination 2014 years) in samples of 2014 and 2018 years found that 80% of exceedances, enshrined in the year 2014, percentage of exceedances in 2018 year amounted to only 3%. Another performance indicator associated with the feature to the rehabilitation of this object. A large number of low level activity in soil was inappropriate to remove the burial and the decision to use the ground as a lower layer of reclamation was justified. Research has shown that in the spectral composition of gamma background rehabilitated territory intensity peaks of caesium-137 is many times greater than background levels. In selected soil samples recorded elevated levels of cesium-137 (up to 32500 Bq/kg on wet weight), and collected on such soil samples of herbs have elevated concentrations of cesium-137 (up to 2000 Bq/kg) and strontium-90 (up to 400 Bq/kg) on the dry weight basis. All elevated levels of activity concentration of cesium-137 were found in local areas, within the path of radioactive contamination, selected in year 2014. After carrying out rehabilitation work there has been a significant decrease in the levels of external radiation man-made radionuclides and on formal grounds completed rehabilitation work provided the requirement of Russian Safety Norms 2.6.1. 2819-10 and radiation dose does not exceed 0.3 mSv/year, however, high dose rate recorded in separate locations on the recultivated territories indicate incomplete and insufficient as completed rehabilitation.

Key words: peaceful nuclear explosion, radionuclides, radioactive contamination, objects the environment, radiation dose, radiation safety.

Evgeniy V. Khramtsov

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

Address for correspondence: Mira str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: zhenia.khramtzov2013@yandex.ru

References

1. Ramzaev V.P., Repin V.S., Khramtsov E.V. Peaceful underground nuclear explosions: current issues on radiation safety for general public. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2009;2(2):27-33. (In Russian).
2. Ramzaev V.P., Medvedev A.Y., Repin V.S., Timofeeva M.A., Khramtsov E.V. Radiation monitoring the industrial nuclear explosion sites and evaluation of the doses to the critical groups of population. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2010;3(1):33-39. (In Russian).
3. Scientific-methodical tracking of the activities on the provision of the radiation safety of the public on the territories located on the sites of the peaceful nuclear explosions: Report on the scientific-research study. № IKRBS 02201457300. Archives of FBUN NIIRG, 2014, 164 p. (In Russian).
4. Radiation-hygienic survey of the territories adjacent to the peaceful nuclear explosion sites with the surface release of the radionuclides and development of the criteria of the provision of the safety of the public: Report on the scientific-research study. № IKRBS 02.2.00950764. Archives of FBUN NIIRG, 2008, 183 p. (In Russian).
5. Khramtsov E.V. [et al.] Radiation situation in the area of peaceful nuclear explosion "Globus-1" before completing rehabilitation in 2014. In the book: Chernobyl-30 years later. Radiation-hygienic aspects of overcoming the consequences of the Chernobyl accident. Abstracts of the international scientifically-practical Conference, 2016, pp. 188-190 (In Russian).
6. Khramtsov E.V. [et al.] Radiation-hygienic assessment of the territories adjacent to the places of peaceful nuclear explosions. Contemporary problems of radiation medicine: from science to practice (Gomel, 26-27 April 2018) international scientific-practical Conference/AGG. Ed. Dr. med. Sciences, associate professor. A.V. Rozhko. Gomel, the Republican Scientific and practical Center for radiation medicine and human ecology. Gomel: Department Republican, 2018, pp. 81-82 (In Russian).
7. Khramtsov E.V. Radiation situation on the territory of the peaceful nuclear explosion «Globus-1» before performing the rehabilitation works. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*, 2019, Vol. 12, No. 2, pp. 81-87. (In Russian).
8. International Commission on Radiation Units and Measurements: Report 53. Gamma-ray spectrometry in the environment / ICRU, 1994.
9. Webpage of the international public forum-dialogue and exhibition "AtomEco 2017". – Available on: <http://www.ato-meco.org/mediafiles/u/files/2015/Materials/Kamornyj.pdf> (Accessed: 13.03.2019) (In Russian).
10. 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).
11. Kasatkin, V.V. Ecological remediation of the objects of the peaceful underground nuclear explosions. *Bulletin of RAEN*, 2018, Vol. 18, No. 1, pp. 8-12. (In Russian).
12. Repin V.S. [et al.] Radiation-hygienic assessment area adjacent to the venue of a peaceful nuclear explosion «Globus-1» after the completed rehabilitation. In the book: issues of radiation hygiene. The materials of the international scientifically practical Conference, 2018, pp. 222-225. (In Russian).

Received: May 30, 2019

For correspondence: Evgeniy V. Khramtsov – Researcher, Laboratory of Ecology, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights and Human Well-Being (Mira str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: zhenia.khramtzov2013@yandex.ru)

For citation: Khramtsov E.V. Radiation situation on the territory of the peaceful nuclear explosion «Globus-1» after performing the rehabilitation works// *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*, 2019, Vol. 12, No. 3, pp. 58-68. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-3-58-68

Оценка доз медицинского облучения при рентгенографических стоматологических исследованиях

И.Г. Шацкий

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

Цель исследования заключается в оценке эффективных доз пациентов при выполнении дентальных исследований (внутриротовых прицельных снимков), сравнении полученных данных с литературными, а также со справочными значениями, приведенными в методических рекомендациях «Заполнение форм федерального государственного статистического наблюдения № 3-ДОЗ» и до сих пор нередко используемыми для заполнения формы вместо измеренных значений. В рамках данной работы в 2016–2018 гг. были обследованы 44 рентгеностоматологических аппарата в 37 стоматологических медицинских организациях в г. Санкт-Петербурге и Ленинградской области. Были включены семь рентгенографических исследований: прицельные снимки трех групп зубов (резцы, премоляры и моляры) для верхней и нижней челюсти и рентгенография прикуса. Были собраны физико-технические и геометрические параметры для выбранных типов исследований стандартных пациентов: напряжения на рентгеновской трубке, общая фильтрация, радиационный выход, комбинация времени и тока экспозиции или экспозиция, область исследования, размеры поля облучения; фокусное расстояние. Далее были выполнены расчеты входной дозы в воздухе на базе значений радиационного выхода аппаратов. Затем на основании информации о параметрах проведения процедур и входной дозы были вычислены с использованием программы РСХМС эффективные дозы. Представлены полученные значения эффективных доз для всех аппаратов и исследований, включенных в данную работу. Для большинства аппаратов значения находятся в диапазоне от 0,5 до 10,7 мкЗв, что значительно меньше значений, используемых при заполнении формы 3-ДОЗ. Результаты оценки эффективной дозы достаточно однородны. Только на одном аппарате были зарегистрированы аномально высокие дозы, значительно превышающие не только значения доз на остальных аппаратах, но и значения из рекомендаций по заполнению формы 3-ДОЗ. Показаны распределения числа аппаратов по интервалам эффективной дозы. Медианы значений эффективной дозы для аппаратов с пленочными приемниками составили для резцов верхней челюсти — 3,2 мкЗв, премоляров верхней челюсти — 3,8 мкЗв, моляров верхней челюсти — 6,8 мкЗв, для резцов, премоляров и моляров нижней челюсти — 3,2; 3,4 и 5,8 мкЗв соответственно, а для рентгенографии прикуса — 6,7 мкЗв. Для аппаратов с цифровыми приемниками: 1 мкЗв, 1,2 мкЗв, 2,2 мкЗв — для верхней челюсти, 1 мкЗв, 1,3 мкЗв, 2 мкЗв — для нижней челюсти и 2,8 мкЗв — для прикуса соответственно. Обращает на себя внимание существенная ширина диапазонов без выбросов для исследований моляров обеих челюстей, что является поводом для возможного усиления оптимизационных мероприятий при проведении данных исследований. При сравнении с опубликованными данными установлено, что эффективные дозы в Санкт-Петербургских и областных стоматологических учреждениях ниже, чем значения, полученные при использовании стандартного круглого коллиматора и пленок средней и высокой чувствительности (класс D и F соответственно), а также ниже уровней доз в рекомендациях Европейской комиссии. Кроме того, результаты данного исследования существенно ниже значений, приведенных в методических рекомендациях «Заполнение форм федерального государственного статистического наблюдения № 3-ДОЗ» и до сих пор нередко используемых для заполнения формы вместо измеренных значений, что свидетельствует о завышении оценок доз пациентов при использовании справочных значений из руководства по форме 3-ДОЗ и необходимости использовать дозы пациентов, полученные на основании измерений и последующих расчетов. Однако эффективные дозы в Санкт-Петербурге и Ленинградской области выше, чем полученные при использовании квадратного коллиматора и пленок высокой чувствительности. Приведенные результаты позволяют говорить о необходимости и возможностях проведения оптимизации при рентгеностоматологических исследованиях в Санкт-Петербурге и Ленинградской области. Анализ аналогичных исследований по другим рентгенодиагностическим техникам позволяет экстраполировать данное утверждение на остальные регионы России.

Ключевые слова: медицинское облучение, рентгенографический исследования, стоматологические исследования, пациенты, эффективная доза.

Шацкий Илья Геннадьевич

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: I.Shatskiy@niirg.ru

Введение

Рентгеновские стоматологические исследования являются одним из наиболее распространенных видов рентгенологических исследований населения [1, 2], и их число имеет тенденцию к постоянному росту со временем. В последние десятилетия в России ежегодно проводится более 30 млн рентгенограмм зубов, челюстей и других костей лицевого черепа, что составляет более 20% от всех снимков, и около 40% рентгенограмм костно-суставной системы, по данным заполнения формы статистического наблюдения №3-ДОЗ «Дозы облучения пациентов при проведении медицинских рентгенорадиологических диагностических исследований».

К традиционной задаче рентгеновской стоматологии – выявлению и уточнению природы заболеваний зубочелюстной системы – добавляется использование рентгенологических методик при оценке динамики течения патологических процессов, определении результатов консервативного и хирургического лечения и полноты реконвалесценции.

По этой причине необходима оценка доз для возможности оптимизации проведения рентгеностоматологических исследований и разработки системы обоснования назначения процедур [3].

Цель исследования – оценка эффективных доз пациентов для дентальных исследований (внутриротовых прицельных снимков), сравнение полученных данных с литературными, а также со справочными значениями, приведенными в методических рекомендациях «Заполнение форм федерального государственного статистического наблюдения № 3-ДОЗ» и нередко используемыми для заполнения формы вместо измеренных значений.

Материалы и методы

В рамках данной работы в 2016–2018 гг. были обследованы 44 рентгеностоматологических аппарата в 37 стоматологических медицинских организациях в г. Санкт-Петербурге и Ленинградской области. Были включены 7 рентгенографических исследований: прицельные снимки трех групп зубов (резцы, премоляры и моляры) для верхней и нижней челюсти и рентгенография прикуса.

В качестве исходной информации для определения эффективной дозы использовались:

- физико-технические измеряемые параметры, определяющие поле рентгеновского излучения:
 - значение высокого напряжения на рентгеновской трубке (кВ);
 - общая толщина и материал фильтра рентгеновского аппарата (мм Al);
 - радиационный выход рентгеновского аппарата ($\text{мГр} \times \text{м}^2$)/(мА×с)
 - комбинация время (с) и ток (мА) экспозиции или экспозиция (мА×с);
- геометрические параметры рентгенологического исследования:
 - область исследования;
 - размеры поля облучения (высота и ширина пучка на коже);
 - фокусное расстояние (расстояние от фокуса рентгеновской трубки до приемника изображения).

Сбор данных был стандартизирован. Во всех организациях для каждого аппарата информация о средних параметрах проведения процедур заносилась в анкетные бланки.

Общая фильтрация рентгеновского излучения составляла не менее 2,5 мм Al, расстояние источник – приемник – 20 см для всех исследований.

При этом радиационный выход аппарата определяется на основании измерений в рамках контроля эксплуатационных параметров рентгеновского аппарата в соответствии с требованиями МУ 2.6.1.2944-11. Далее проводился расчет входной дозы в воздухе по формуле:

$$D_{\text{вх}} = R \cdot Q / (r)^2 = R \cdot i \cdot t / (r)^2, \text{ мГр (1)}$$

где R – радиационный выход, $\text{мГр} \cdot \text{м}^2 / \text{мА} \cdot \text{с}$, – определяли по МУК 2.6.1.1797-03;

r – расстояние от фокуса трубки до поверхности тела пациента, м;

Q – экспозиция, мА×с;

i – анодный ток, мА;

t – выдержка (продолжительность включения высокого напряжения), с.

Затем на основании исходной информации о параметрах проведения процедур и входной дозы были вычислены поглощенные дозы в органах и тканях, необходимые для оценки эффективной дозы [3, 4, 5]. Как поглощенные, так и эффективные дозы вычислялись с использованием программы РСХМС [5] для фантома стандартного взрослого человека ростом 174 см и весом 71,1 кг. Ось пучка находилась в сагиттальной плоскости фантома – для моделирования рентгенографии резцов и прикуса и под углом в 30° и 60° – для рентгенографии премоляров и моляров соответственно. При этом координаты центра пучка подбирались, исходя из проекций периапикальных областей соответствующих групп зубов на поверхность фантома. Для моделирования исследования прикуса также использовался кранио-каудальный угол 60°. Во всех случаях расстояние фокус – кожа составляло 20 см, а размер поля – 5,3×5,3 см (по площади эквивалентный круглому коллиматору диаметром 6 см).

Результаты и обсуждение

Типичные параметры проведения процедур при внутриротовой рентгенографии и рассчитанные значения эффективных доз приведены в таблице 1. Рассчитанные значения эффективных доз для всех аппаратов и всех исследований, включенных в данную работу, представлены на рисунках 1 и 2.

Для большинства аппаратов значения эффективных доз находятся в диапазоне от 0,5 до 10,7 мкЗв, что значительно меньше значений 40 мкЗв и 20 мкЗв, рекомендуемых при заполнении формы 3-ДОЗ (методические рекомендации «Заполнение форм федерального государственного статистического наблюдения № 3-ДОЗ» № 0100/1659-07-26 от 16 февраля 2007 г.). Необходимо сказать, что в новой, подготовленной в 2014 г., редакции методических указаний для этого вида дентальных исследований предлагается использовать значение эффективной дозы 10 мкЗв и 3 мкЗв для пленочных и цифровых приемников излучения соответственно.

Результаты оценки эффективной дозы для этих аппаратов достаточно однородны, что говорит о схожести условий проведения на них процедур. Но на одном аппарате зарегистрированы дозы, значительно превышающие значения доз на остальных аппаратах.

Типичные параметры проведения процедур и эффективные дозы при внутриротовой рентгенографии

Таблица 1

[Table 1]

Typical parameters of the procedure and effective doses for intraoral radiography

Исследование [Examination]	Напряжение на трубке (кВ) [X-ray tube voltage (kV)]	Время (с) [Exposure time (s)]	Входная доза (мГр) [EAK (mGy)]	Эффективная доза (мкЗв) [Effective Dose ICRP103 (μSv)]	
Пленка [film]	Верхние резцы [maxilla incisor]	50	1,43	8,75	12,4
		60	0,22	1,39	2,5
		70	0,20	1,39	3,4
	Верхние премоляры [maxilla premolar]	50	2,14	13,13	17,4
		60	0,28	1,67	2,9
		70	0,25	1,73	4,0
	Верхние моляры [maxilla molar]	50	2,14	13,13	31,0
		60	0,34	2,11	5,7
		70	0,31	2,18	7,1
	Нижние резцы [mandibula incisor]	50	1,43	8,75	14,6
		60	0,20	1,25	2,7
		70	0,16	1,11	3,2
	Нижние премоляры [mandibula premolar]	50	2,14	13,13	20,4
		60	0,21	1,37	2,8
		70	0,20	1,39	3,8
	Нижние моляры [mandibula molar]	50	2,14	13,13	33,2
		60	0,25	1,67	4,9
		70	0,25	1,67	6,0
	Прикус [bitewing]	50	2,14	13,13	18,9
		70	0,25	2,15	5,9
Цифровой приемник [digital detector]	Верхние резцы [maxilla incisor]	60	0,06	0,54	1,1
		65	0,06	0,46	1,0
		70	0,06	0,66	1,6
	Верхние премоляры [maxilla premolar]	60	0,08	0,52	1,0
		63	0,06	0,73	1,5
		65	0,08	0,57	1,1
	Верхние моляры [maxilla molar]	70	0,08	0,81	1,8
		60	0,10	0,65	1,9
		63	0,08	0,97	2,9
	Нижние резцы [mandibula incisor]	65	0,10	0,72	2,1
		70	0,09	0,98	3,1
		60	0,05	0,44	1,0
	Нижние премоляры [mandibula premolar]	65	0,05	0,37	0,9
		70	0,05	0,47	1,2
		60	0,06	0,41	0,9
	Нижние моляры [mandibula molar]	63	0,05	0,61	1,5
		65	0,06	0,47	1,1
		70	0,07	0,63	1,6
	Прикус [bitewing]	60	0,06	0,41	1,3
		63	0,06	0,73	2,4
		65	0,08	0,60	1,9
		70	0,08	0,74	2,7
		60	0,05	0,32	0,7
		70	0,08	1,16	2,9

Типичный ток (мА) [current (mA)] – 7 мА.

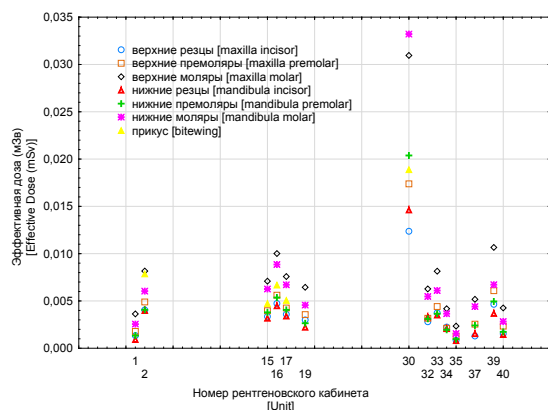


Рис 1. Значения эффективной дозы у пациентов при рентгенографических стоматологических исследованиях на аппаратах с пленкой в Санкт-Петербурге и Ленинградской области

[Fig. 1. Values of the effective dose of patients for radiographic dental studies on x-ray units with films in St. Petersburg and Leningrad region]

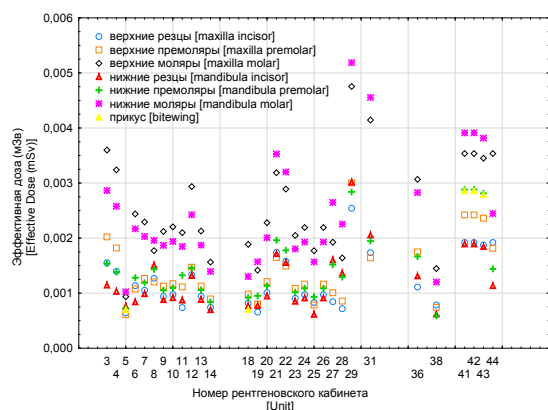


Рис 2. Значения эффективной дозы у пациентов при рентгенографических стоматологических исследованиях на аппаратах с цифровым приемником в Санкт-Петербурге и Ленинградской области

[Fig. 2. Values of the effective dose of patients for radiographic dental studies on x-ray units with digital detector in St. Petersburg and Leningrad region]

Типичные значения эффективных доз, а также органов с наибольшими поглощенными дозами и значения поглощенных доз в них для каждого вида исследований, рассмотренного в работе, представлены в таблице 2.

Максимальные поглощенные дозы наблюдаются в слизистой оболочке рта, только для исследований моляров уступая слюнным железам. В целом, красный костный мозг и щитовидная железа (ткани с большими взвешивающими коэффициентами w_T) получают лишь небольшую долю дозы, за исключением исследований прикуса, где щитовидная железа является органом со второй по величине поглощенной дозой.

Для остальных органов значения поглощенных доз существенно меньше приведенных в таблице 2, и можно признать, что они не вносят значительного вклада в расчет эффективной дозы.

Медианы значений эффективной дозы для аппаратов с пленочными приемниками составили для резцов верхней че-

люсти 3,2 мкЗв, премоляров верхней челюсти – 3,8 мкЗв, моляров верхней челюсти – 6,8 мкЗв, для резцов, премоляров и моляров нижней челюсти – 3,2 мкЗв; 3,4 мкЗв и 5,8 мкЗв соответственно, а для рентгенографии прикуса – 6,7 мкЗв. Для аппаратов с цифровыми приемниками: 1 мкЗв, 1,2 мкЗв, 2,2 мкЗв – для верхней челюсти, 1 мкЗв, 1,3 мкЗв, 2 мкЗв – для нижней челюсти и 2,8 мкЗв для прикуса соответственно.

Также на рисунках 3 и 4 показаны квантили и диапазоны без выбросов значений эффективной дозы для различных исследований. Обращает на себя внимание существенная ширина диапазонов без выбросов для исследований моляров обеих челюстей, что является поводом для возможного усиления оптимизационных мероприятий при проведении данных исследований. Медианы значений в распределении эффективных доз для аппаратов с пленочным приемником смещены в сторону высоких доз, что позволяет говорить о недостаточной оптимизации для этого варианта исследований. Для аппаратов с цифровыми приемниками, наоборот, медианы смещены в сторону низких значений, что свидетельствует о достаточно высоком уровне оптимизации проведения рентгеностоматологических исследований.

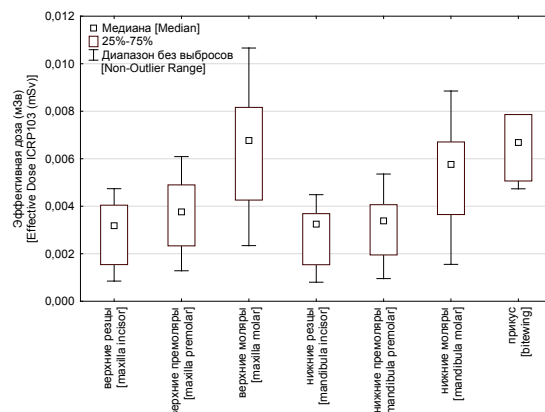


Рис 3. Медианы, квантили и диапазоны без выбросов значений эффективной дозы для различных исследований на аппаратах с пленкой

[Fig. 3. Medians, quantiles and ranges without emission of effective dose values for various examinations on x-ray units with films]

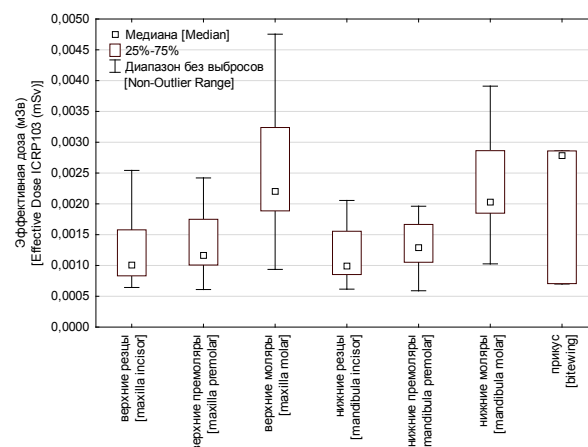


Рис 4. Медианы, квантили и диапазоны без выбросов значений эффективной дозы для различных исследований на аппаратах с цифровыми приемниками

[Fig. 4. Medians, quantiles and ranges without emission of effective dose values for various examinations on x-ray units with digital detectors]

Таблица 2

[Table 2]

Эффективная доза (мкЗв) за исследование и органы с наибольшими поглощенными дозами (мкГр)
Effective dose (μSv) for the examination and organs with the highest absorbed doses (μGy)

Исследование [Examination]	Орган, поглощенная доза (мкГр) [Organ, organ dose (μGy)]						Эффективная доза (мкЗв) [Effective Dose (μSv)]	
	Пленка [film]							
Верхние резцы [maxilla incisor]	Слизистая рта [Oral mucosa], 147,4	ВДП ¹⁾ [Extrathoracic airways], 67,2	Скелет [Skeleton], 23,1	Головной мозг [Brain], 11,2	Лимфатические узлы [Lymph nodes], 9,8	Слюнные же- лезы [Salivary glands], 9	Кожа [Skin], 4 ККМ ²⁾ [RBM], 4,6	3,2
	Слизистая рта [Oral mucosa], 170,3	ВДП [Extrathoracic airways], 71,2	Скелет [Skeleton], 26,5	Головной мозг [Brain], 16,6	Слюнные же- лезы [Salivary glands], 14,6	Лимфатические узлы [Lymph nodes], 10,9	Кожа [Skin], 5 ККМ [RBM], 5,3	3,8
Верхние мо- ляры [maxilla molar]	Слюнные железы [Salivary glands], 370,9	Слизистая рта [Oral mucosa], 132,9	Лимфатические узлы [Lymph nodes], 33	Скелет [Skeleton], 26,2	Головной мозг [Brain], 24,3	ВДП ¹⁾ [Extrathoracic airways], 23,8	ККМ [RBM], 5,3	6,8
Нижние резцы [mandibula incisor]	Слизистая рта [Oral mucosa], 138,4	ВДП [Extrathoracic airways], 44	Слюнные же- лезы [Salivary glands], 39,8	Скелет [Skeleton], 17,4	Лимфатические узлы [Lymph nodes], 9,5	Щитовидная железа [Thyroid], 8	ККМ [RBM], 3,5	3,2
Нижние премоляры [mandibula premolar]	Слизистая рта [Oral mucosa], 147,1	ВДП [Extrathoracic airways], 46,6	Слюнные же- лезы [Salivary glands], 45,7	Скелет [Skeleton], 18,1	Лимфатические узлы [Lymph nodes], 10,3	Щитовидная железа [Thyroid], 7	ККМ [RBM], 3,5	3,4
Нижние моля- ры [mandibula molar]	Слюнные железы [Salivary glands], 320,7	Слизистая рта [Oral mucosa], 110,6	Лимфатические узлы [Lymph nodes], 30,3	ВДП [Extrathoracic airways], 28,4	Скелет [Skeleton], 16,1	Кожа [Skin], 7,3	Щитовидная железа [Thyroid], 4,5	5,8
	Слизистая рта [Oral mucosa], 189,6	Щитовидная железа [Thyroid], 58,4	ВДП [Extrathoracic airways], 39,2	Скелет [Skeleton], 26,6	Слюнные же- лезы [Salivary glands], 21,4	Кожа [Skin], 14,1	Лимфатические узлы [Lymph nodes], 10,6	6,7
Цифровой приемник [digital detector]								
Верхние резцы [maxilla incisor]	Слизистая рта [Oral mucosa], 48,4	ВДП [Extrathoracic airways], 20,6	Скелет [Skeleton], 7,5	Головной мозг [Brain], 3,4	Лимфатические узлы [Lymph nodes], 3	Слюнные же- лезы [Salivary glands], 2,8	Кожа [Skin], 1,3	1
Верхние премоля- ры [maxilla premolar]	Слизистая рта [Oral mucosa], 54,8	ВДП [Extrathoracic airways], 21,5	Скелет [Skeleton], 8,4	Головной мозг [Brain], 5	Слюнные же- лезы [Salivary glands], 4,4	Лимфатические узлы [Lymph nodes], 3,3	ККМ [RBM], 1,6	1,2
Верхние мо- ляры [maxilla molar]	Слюнные железы [Salivary glands], 123,2	Слизистая рта [Oral mucosa], 42,4	Лимфатические узлы [Lymph nodes], 10,9	Скелет [Skeleton], 8,2	Головной мозг [Brain], 7,5	ВДП [Extrathoracic airways], 7,3	Кожа [Skin], 2,3 ККМ [RBM], 1,6	2,2

Исследование [Examination]	Орган, поглощенная доза (мкГр) [Organ, organ dose (μGy)]						Эффективная доза (мкЗв) [Effective Dose (μSv)]		
Нижние резцы [mandibula incisor]	Слизистая рта [Oral mucosa], 42,4	ВДП [Extrathoracic airways], 13,8	Слюнные же- лезы [Salivary glands], 12,5	Скелет [Skeleton], 5,3	Лимфатические узлы [Lymph nodes], 3	Щитовидная железа [Thyroid], 2,5	Кожа [Skin], 1,4 [RBM], 1,1	КМ [RBM], 1,1	1
Нижние премоляры [mandibula premolar]	Слизистая рта [Oral mucosa], 55,3	ВДП [Extrathoracic airways], 18,5	Слюнные же- лезы [Salivary glands], 18,2	Скелет [Skeleton], 6,8	Лимфатические узлы [Lymph nodes], 4,1	Щитовидная железа [Thyroid], 2,8	Кожа [Skin], 2	КМ [RBM], 1,3	1,3
Нижние моля- ры [mandibula molar]	Слюнные железы [Salivary glands], 112,3	Слизистая рта [Oral mucosa], 39,9	ВДП [Extrathoracic airways], 11,7	Лимфатические узлы [Lymph nodes], 10,6	Скелет [Skeleton], 6,1	Кожа [Skin], 2,6	Щитовидная железа [Thyroid], 1,9	КМ [RBM], 1,3	2
Прикус [bitewing]	Слизистая рта [Oral mucosa], 81,6	Щитовидная же- леза [Thyroid], 24	ВДП [Extrathoracic airways], 16	Скелет [Skeleton], 11,2	Слюнные же- лезы [Salivary glands], 8,7	Кожа [Skin], 6,4	Лимфатические узлы [Lymph nodes], 4,3	КМ [RBM], 2,3	2,8

¹⁾ ВДП – внеторакальные дыхательные пути;

²⁾ ККМ – красный костный мозг;

[¹⁾ Extrathoracic airways

²⁾ RBM – red bone marrow].

Поскольку эффективные дозы при описании медицинского облучения в стоматологии редко публикуются в мировой литературе, а используются и публикуются измеряемые дозиметрические величины (входная доза, произведение дозы на площадь), то возможности сравнения результатов данной работы с литературными данными были ограничены. Сравнение типичных эффективных доз за исследование в медицинских учреждениях Санкт-Петербурга и Ленинградской области с аналогичными опубликованными данными представлено на рисунке 5.

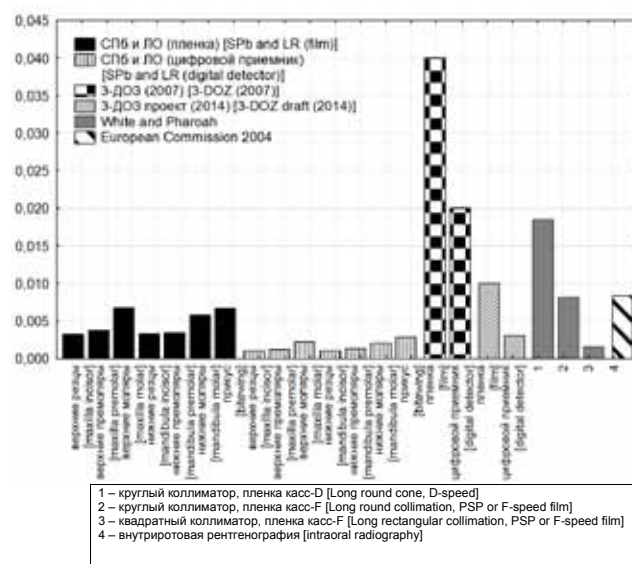


Рис. 5. Сравнение типичных (медианы) доз в медицинских организациях Санкт-Петербурга и Ленинградской области с опубликованными данными и значениями, используемыми для заполнения формы 3-ДОЗ

[Fig. 5. Comparison of typical (median) doses in medical organizations in St. Petersburg and the Leningrad Region with published data and values used to fill in the 3-DOS form]

Эффективные дозы для аппаратов с пленкой в Санкт-Петербурге и Ленинградской области ниже, чем значения, полученные при использовании стандартного круглого коллиматора и пленок средней и высокой чувствительности (класс D и F соответственно) [6], и ниже уровней доз в рекомендациях Европейской комиссии [7]. Кроме того, результаты данного исследования существенно ниже значений, приведенных в методических рекомендациях «Заполнение форм федерального государственного статистического наблюдения № 3-ДОЗ» (версия 2007 г.) и до сих пор нередко используемых для заполнения формы вместо измеренных значений. Это свидетельствует о завышении оценок доз пациентов при использовании справочных значений из руководства по форме 3-ДОЗ и необходимости использовать дозы пациентов, полученные на основании измерений и расчетов. Однако эффективные дозы в Санкт-Петербурге и Ленинградской области выше, чем полученные при использовании квадратного коллиматора и пленок высокой чувствительности.

При допущении прямого сравнения эффективных доз для аппаратов с цифровыми приемниками и пленками высокой чувствительности значения, полученные в дан-

ном исследовании для аппаратов с цифровыми приемниками, близки с опубликованными значениями при использовании квадратного коллиматора и пленок высокой чувствительности.

В качестве возможных вариантов оптимизационных мероприятий можно рекомендовать использование при внутриротовой рентгенографии самых быстрых из доступных пленок, соответствующих удовлетворительным результатам диагностики [7–10], таких как пленки класса E или F ISO. Они уменьшают дозу пациента более чем на 50% по сравнению с пленками класса D. В настоящее время наиболее подходящими цифровыми приемниками изображения являются датчики на основе устройства с зарядовой связью (CCD), построенные по твердотельной технологии. С их использованием доза снижается почти на 50% по сравнению с пленкой класса E [10, 11].

Также уменьшение поля облучения до минимального размера, необходимого для получения изображения интересующего объекта, является очевидным средством ограничения дозы пациентов [7] и улучшает качество изображения [6] за счет уменьшения рассеянного излучения. Традиционно используется круговая коллимация для внутриротовой радиографии. Площадь круговой коллимации диаметром 6 см примерно на 135% больше, чем площадь обычной зубной пленки размером № 2 ($S = 12,71 \text{ см}^2$), что указывает на значительные возможности для дальнейшей коллимации [12]. Так как прямоугольный коллиматор существенно уменьшает дозу по сравнению с круглым [13–15], то радиографическое оборудование должно иметь прямоугольную коллимацию для рентгенограмм зубов и прикуса [11].

Заключение

Уровни облучения пациентов при проведении ден- тальных внутриротовых исследований на аппаратах с пленочными приемниками в Санкт-Петербурге и Ленинградской области ниже большинства опублико- ванных данных и существенно ниже значений, приве- денных в методических рекомендациях «Заполнение форм федерального государственного статистического наблюдения № 3-ДОЗ» и до сих пор используемых для заполнения формы вместо измеренных значений, что искажает и завышает оценку доз пациентов. При этом зна- чения эффективных доз, полученные в данной работе, выше полученных при использовании методов оптими- зации высокого уровня (квадратный коллиматор и пленки высокой чувствительности). Тем самым подтверждается реальная возможность дальнейшего снижения уровней облучения пациентов при рентгенодиагностических сто- матологических исследованиях.

Уровни облучения пациентов для аппаратов с цифро- выми приемниками существенно ниже по сравнению с аппаратами с пленочными приемниками.

Литература

1. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Effects of Ionizing Radiation, UNSCEAR 2006 Report, Volume I, Annex A, NY, United Nations, 2008.
2. Tomohiro Okano Jaideep Sur. Radiation dose and protection in dentistry. Japanese Dental Science Review, Volume 46, Issue 2, August 2010, Pages 112-121.
3. International Commission on Radiological Protection «Radiological Protection in Medicine», ICRP Publication 105, Ann ICRP 37 (6). Elsevier; 2007.
4. Cristy M. Mathematical phantoms representing children of various ages for use in estimates of internal dose. Oak Ridge National Laboratory, ORNL/NUREG/TM-367 (1980).
5. Tapiovaara M., Lakkisto M., Servomaa A. PCXMC: A PC-based Monte Carlo program for calculating patient doses in medical x-ray examinations. Report STUK-A139, 2nd Edition. Helsinki, Finnish Centre for Radiation and Nuclear Safety, 2008.
6. S.C. White, M.J. Pharoah. Oral radiology: principles and interpretation. (6th ed.), Mosby Elsevier, St. Louis (2009).
7. European Commission. Radiation Protection 136. European Guidelines on Radiation Protection in Dental Radiology. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2004.
8. American Dental Association Council on Scientific Affairs: The use of dental radiographs. Update and recommendations. J Am Dent Assoc 2006;137:1304–12.
9. K. Syriopoulos, X.L. Velders, G.C.H. Sanderink, P.F. van der Stelt Sensitometric and clinical evaluation of a new F-speed dental X-ray film Dentomaxillofac Radiol, 30 (2001), pp. 40-44.
10. M. Alcaraz, C. Parra, Y. Martinez Beneyto, E. Velasco, M. Canteras Is it true that the radiation dose to which patients are exposed has decreased with modern radiographic films? Dentomaxillofac Radiol, 38 (2009), pp. 92-97.
11. S.C. White, E.W. Heslop, L.G. Hollender, K.M. Mosier, A. Ruprecht, M.K. Shrout Parameters of radiologic care: an official report of the American Academy of oral and maxillofacial radiology Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod, 91 (2001), pp. 498-511.
12. K. Horner, P.N. Hirschmann Dose reduction in dental radiography J Dent, 18 (1990), pp. 171-184.
13. L.T. Kircos, L.L. Angin, L. Lortan Order of magnitude dose reduction in intraoral radiography J Am Dent Assoc, 114 (1987), pp. 344-347.
14. J.P. Freeman, J.W. Brand Radiation doses of commonly used dental radiographic surveys Oral Surg Oral Med Oral Pathol, 77 (1994), pp. 285-289.
15. K. Horner Radiation protection in dental radiology Br J Radiol, 67 (1994), pp. 1041-1049.

Поступила: 24.04.2019 г.

Шацкий Илья Геннадьевич – научный сотрудник лаборатории радиационной гигиены медицинских организаций 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.Shatskiy@niirg.ru

Для цитирования: Шацкий И.Г. Оценка доз медицинского облучения при рентгенографических стоматологических исследованиях // Радиационная гигиена. – 2019. – Т. 12, № 3. – С. 69-77. DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-3-69-77

Dose assessment of medical exposure of radiographic dental studies

Ilya G. Shatskiy

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 purpose of the study is to evaluate the effective doses of patients for the most common radiographic dental studies, comparing the obtained data with the literature and reference values given in the guidelines "Filling in the forms of the federal state statistical observation No. 3-DOZ" and are still often used for form filling instead of measured values. In the framework of this work in 2016-2018, 44 X-ray units were examined at 37 dental medical facilities in St. Petersburg and the Leningrad Region. Seven radiographic studies were included: radiographs of three groups of teeth (incisors, premolars, and molars) for the upper and lower jaw and bite radiography. Physical-technical and geometrical parameters were collected for selected types of the standard patient studies: X-ray tube voltages, total filtration, radiation output, combination of the time and the current of exposure or the exposure, area of the study, size of the irradiation field; the focal length. Further, the input (surface) dose was calculated from the radiation output of the device. Then, based on the initial information about the parameters of the procedures and the input dose, the absorbed doses and the effective dose were calculated using the PCXMC program. For most devices, the dose values are in the range of 0.5 to 10.7 μSv , which is significantly lower than the values used to fill in the 3-DOS form. The results of evaluating the effective dose for these devices are fairly homogeneous, but on one device, there were doses exceeding not only the values of doses on other devices, but also the values from the recommendations for 3-DOS for devices with digital receivers, as well as those approaching similar values for film devices. An almost linear dependence of the effective dose on the exposure time was established, while a similar dependence on the voltage on the X-ray tube was not found. The median value of the effective dose for the units with films detectors was 3.2 μSv for the maxillary incisors, 3.8 μSv for the maxillary premolars, 6.8 μSv for the maxillary molars, and for the mandibular incisors, premolars and molars – 3.2, 3.4 and 5.8 μSv , and for bitewing – 6.7 μSv . For the unit with digital detectors, effective doses were 1 μSv , 1.2 μSv , 2.2 μSv for maxilla, 1 μSv , 1.3 μSv , 2 μSv for mandibula and 2.8 μSv for bitewing. Attention is drawn to the substantial width of the ranges without emissions for the examination of premolars of the upper jaw, molars of both jaws and occlusion, which is the reason for the possible enhancement of optimization measures in these studies. When comparing with published data, it was found that the effective doses in St. Petersburg and the regional institutions are lower than the values obtained using standard round collimator and medium and high sensitivity films (class D and F, respectively), as well as lower dose levels in the European Commission Guidelines. In addition, the dose values deduced in this study are significantly lower than the values given in the guidelines "Filling in the forms of federal state statistical observation No. 3-DOZ" and which are still often used to fill in the form instead of the measured values. This indicates an overestimation of estimates of patient doses when using reference values from the 3-DOZ manual and the need to use individual patient doses, obtained on the basis of measurements. However, the effective doses in St. Petersburg and the Leningrad Region are higher than those obtained using a square collimator and high-sensitivity films. The above results suggest that it is necessary and possible to carry out optimization in X-ray dental studies in St. Petersburg and the Leningrad Region. Analysis of similar studies on other X-ray diagnostic techniques allows to extrapolate this statement to other regions of Russia.

Key words: medical exposure, radiographic examinations, dental examinations, patients, effective dose.

References

1. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Effects of Ionizing Radiation, UNSCEAR 2006 Report, Volume I, Annex A, NY, United Nations, 2008.
2. Tomohiro Okano Jaideep Sur. Radiation dose and protection in dentistry. Japanese Dental Science Review, Volume 46, Issue 2, August 2010, Pages 112-121.
3. International Commission on Radiological Protection «Radiological Protection in Medicine», ICRP Publication 105, Ann ICRP 37 (6). Elsevier; 2007.
4. Cristy M. Mathematical phantoms representing children of various ages for use in estimates of internal dose. Oak Ridge National Laboratory, ORNL/NUREG/TM-367 (1980).
5. Tapiovaara M., Lakkisto M., Servomaa A. PCXMC: A PC-based Monte Carlo program for calculating patient doses in medical x-ray examinations. Report STUK-A139, 2nd Edition. Helsinki, Finnish Centre for Radiation and Nuclear Safety, 2008.
6. S.C. White, M.J. Pharoah. Oral radiology: principles and interpretation. (6th ed.), Mosby Elsevier, St. Louis (2009).
7. European Commission. Radiation Protection 136. European Guidelines on Radiation Protection in Dental Radiology. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2004.

Ilya G. Shatskiy

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.Shatskiy@niirg.ru

8. American Dental Association Council on Scientific Affairs: The use of dental radiographs. Update and recommendations. J Am Dent Assoc 2006;137:1304–12.
9. K. Syriopoulos, X.L. Velders, G.C.H. Sanderink, P.F. van der Stelt Sensitometric and clinical evaluation of a new F-speed dental X-ray film Dentomaxillofac Radiol, 30 (2001), pp. 40-44.
10. M. Alcaraz, C. Parra, Y. Martinez Beneyto, E. Velasco, M. Canteras Is it true that the radiation dose to which patients are exposed has decreased with modern radiographic films? Dentomaxillofac Radiol, 38 (2009), pp. 92-97.
11. S.C. White, E.W. Heslop, L.G. Hollender, K.M. Mosier, A. Ruprecht, M.K. Shrout Parameters of radiologic care: an official report of the American Academy of oral and maxillofacial radiology Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod, 91 (2001), pp. 498-511.
12. K. Horner, P.N. Hirschmann Dose reduction in dental radiography J Dent, 18 (1990), pp. 171-184.
13. L.T. Kircos, L.L. Angin, L. Lortan Order of magnitude dose reduction in intraoral radiography J Am Dent Assoc, 114 (1987), pp. 344-347.
14. J.P. Freeman, J.W. Brand Radiation doses of commonly used dental radiographic surveys Oral Surg Oral Med Oral Pathol, 77 (1994), pp. 285-289.
15. K. Horner Radiation protection in dental radiology Br J Radiol, 67 (1994), pp. 1041-1049.

Received: April 24, 2019

For correspondence: Ilya G. Shatskiy – Researcher, Medical 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, St. Petersburg, 197101, Russia; E-mail: I.Shatskiy@niirg.ru)

For citation: Shatskiy I.G. Dose assessment of medical exposure of radiographic dental studies. Radiatsionnaya Gygiena=RadiationHygiene, 2019, Vol. 12, No. 3, pp. 69-77. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-3-69-77

Оценка доз облучения населения субъектов Российской Федерации за счет космического излучения

Д.В. Кононенко, Т.А. Кормановская

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 статье представлены результаты уточненного расчета средних индивидуальных годовых эффективных доз облучения населения субъектов РФ за счет космического излучения. При расчете в качестве высоты над уровнем моря и географической широты региона были использованы средневзвешенные по численности населения значения высоты над уровнем моря и географической широты основных населенных пунктов, в которых проживает не менее 50% жителей региона, при этом в расчет были включены все населенные пункты с численностью населения не менее 20 тыс. чел. Охват населения субъектов РФ в проведенном расчете варьируется от 50,1 до 95,8%, не считая городов федерального значения, и в среднем составляет 62,4%; количество включенных в расчет населенных пунктов — от 1 до 63. В основу методики расчета доз положен подход, описанный в отчете НКДАР ООН 2000 г. Полученные значения доз лежат в диапазоне от 0,310 до 0,413 мЗв; для России в целом средневзвешенное по численности населения отдельных субъектов РФ значение индивидуальной годовой эффективной дозы облучения за счет космического излучения составляет 0,338 мЗв.

Ключевые слова: космическое излучение, ионизирующий компонент, нейтронный компонент, космогенные радионуклиды, доза облучения, высота над уровнем моря, географическая широта, субъекты РФ.

Введение

Доза облучения людей за счет космического излучения вблизи поверхности земли определяется воздействием трех его составляющих: ионизирующего компонента, нейтронного компонента и космогенных радионуклидов. Доза за счет ионизирующего и нейтронного компонентов космического излучения определяется географической широтой местности и ее высотой над уровнем моря [1, 2].

В рамках единой государственной системы контроля и учета индивидуальных доз облучения граждан (ЕСКИД) средняя годовая эффективная доза облучения за счет космического излучения на протяжении многих лет (с 2001 по 2015 г.) для населения всех субъектов РФ при-

нималась одинаковой и равной 0,4 мЗв в соответствии с методическими рекомендациями по заполнению формы государственного (федерального) статистического наблюдения № 4-ДОЗ^{1,2,3}.

Впервые расчеты по оценке доз космического облучения для населения субъектов РФ были выполнены нами в процессе подготовки монографии «Природные источники ионизирующего излучения: дозы облучения, радиационные риски, профилактические мероприятия» [3]. При расчете в качестве высоты над уровнем моря субъекта РФ было использовано среднее арифметическое значение высот основных населенных пунктов, в которых проживает не менее 50% жителей региона, а в качес-

¹ Форма государственного статистического наблюдения № 4-ДОЗ: Методические рекомендации (Инструкция по заполнению формы № 4-ДОЗ). М.: Минздрав России, 2002. 15 с. [State statistical form No 4-DOZ: Guidelines (Instructions for completing the form No 4-DOZ). Moscow, Ministry of Health of Russia; 2002, 15 p. (In Russian)]

² Форма федерального государственного статистического наблюдения № 4-ДОЗ. Сведения о дозах облучения населения за счет естественного и техногенно измененного радиационного фона: Методические рекомендации. Утверждены 19.04.2007 г. № 0100/4027-07-34. – 30 с. [Federal state statistical form No 4-DOZ. Data on doses of public exposure to natural and technologically enhanced radiation background: Guidelines (approved 19.04.2007, No 0100/4027-07-34), 30 p. (In Russian)]

³ Форма федерального статистического наблюдения № 4-ДОЗ. Сведения о дозах облучения населения за счет естественного и техногенно измененного радиационного фона: Методические рекомендации МР 2.6.1.0088-14. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2014. 39 с. [Federal statistical form No 4-DOZ. Data on doses of public exposure to natural and technologically enhanced radiation background: Guidelines MR 2.6.1.0088-14. Moscow, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being; 2014, 39 p. (In Russian)]

Кононенко Дмитрий 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: d.kononenko@niirg.ru

тве широты – широта географического центра региона. Результаты этих расчетов были включены в информационные сборники «Дозы облучения населения Российской Федерации» за 2016 и 2017 гг. [4, 5].

В данной работе в расчеты были внесены существенные изменения, позволяющие более точно оценить среднюю индивидуальную годовую эффективную дозу облучения за счет космического излучения, получаемую населением, проживающим не в абстрактном географическом центре региона, а в конкретных населенных пунктах. При расчете в качестве высоты над уровнем моря и географической широты субъекта РФ были использованы средневзвешенные по численности населения значения высоты над уровнем моря и географической широты основных населенных пунктов, в которых проживает не менее 50% жителей региона, при этом в расчет были включены все населенные пункты с численностью населения не менее 20 тыс. чел. Для Красноярского края, территория которого простирается примерно от 51,7° с.ш. до 81,2° с.ш., произведен отдельный расчет для северной (Таймырский, Долгано-Ненецкий районы и г. Норильск), центральной (Туруханский и Эвенкийский районы) и южной частей (остальные районы).

Материалы и методы

Источником данных о координатах населенных пунктов и их высоте над уровнем моря послужила географическая база данных со свободным доступом GeoNames [6].

Охват населения субъектов РФ в проведенном расчете варьируется от 50,1 (Республика Дагестан, Кабардино-Балкарская Республика, Республика Саха (Якутия)) до 95,8% (северная часть Красноярского края), не считая городов федерального значения, и в среднем составляет 62,4%; количество включенных в расчет населенных пунктов – от 1 (Магаданская область, не считая городов федерального значения) до 63 (Московская область).

В соответствии с [7] годовая мощность эффективной дозы ионизирующего компонента космического излучения имеет весьма слабую широтную зависимость и для широт от 30° с.ш. до 90° с.ш. на уровне моря $E_{\gamma}(0)$ равна 236 мкЗв/год (с учетом среднего коэффициента ослабления излучения межэтажными перекрытиями зданий, равного 0,8, и доли времени нахождения людей в поме-

щениях, равной 0,8). Зависимость мощности этой дозы от высоты над уровнем моря описывается следующим выражением [1, 2, 7]:

$$E_{\gamma}(h) = E_{\gamma}(0) \cdot [0,21 \cdot e^{-1,649 \cdot h} + 0,79 \cdot e^{0,4528 \cdot h}], \text{ мкЗв/год} \quad (1)$$

где h – высота над уровнем моря, км.

Для нейтронного компонента космического излучения широтная зависимость мощности дозы на уровне моря $E_n(0)$ более заметна (табл. 1).

Зависимость мощности этой дозы от высоты над уровнем моря также весьма значительна (табл. 2). Высотный коэффициент K_h представляет собой отношение мощности дозы на высоте h к мощности дозы на уровне моря: $K_h = E_n(h)/E_n(0)$.

Для повышения точности расчетов была построена аппроксимирующая кривая этой зависимости (рис.) и получено ее уравнение (величина достоверности аппроксимации $R^2 = 0,999$):

$$K_h = 1,0253 \cdot e^{0,8027 \cdot h} \quad (2)$$

где h – высота над уровнем моря, км.

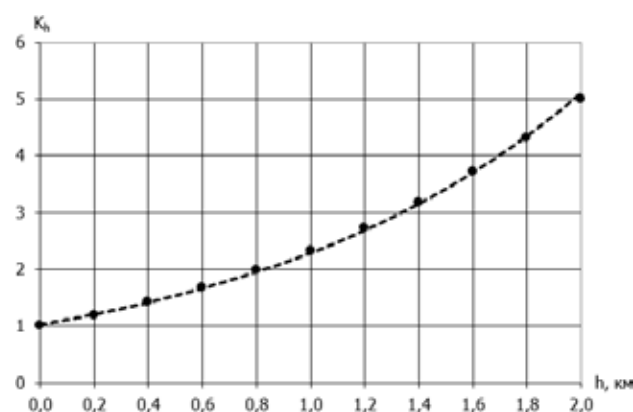


Рис. График зависимости высотного коэффициента K_h для нейтронного компонента космического излучения от высоты над уровнем моря

[Fig. Plot of the altitudinal dependence of the K_h coefficient of the neutron component of cosmic radiation]

Третьей составляющей дозы за счет космического излучения является доза от космогенных радионуклидов – ^3H , ^7Be , ^{14}C и ^{22}Na , важнейшим дозообразующим из

Широтная зависимость годовой мощности дозы нейтронного компонента космического излучения

Таблица 1

[Table 1]

Latitudinal dependence of the annual dose rate of the neutron component of cosmic radiation]

Широта, ° с.ш. [Latitude, ° N]	80–90	70–80	60–70	50–60	40–50	30–40
$E_n(0)$, мкЗв/год [μSv/year]	81	81	80	74	57	39

Таблица 2

Зависимость высотного коэффициента K_h для нейтронного компонента космического излучения от высоты над уровнем моря

[Table 2]

Altitudinal dependence of the K_h coefficient of the neutron component of cosmic radiation]

Высота, км [Altitude, km]	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
K_h	1	1,19	1,42	1,68	1,98	2,32	2,72	3,18	3,71	4,31	4,99

которых является ^{14}C . Эта составляющая индивидуальной годовой эффективной дозы является константой и принимается равной среднемировому значению данного показателя – 12 мкЗв [1,2].

Результаты и обсуждение

В таблице 3 приведены результаты расчета средних индивидуальных годовых эффективных доз облучения

населения субъектов РФ за счет космического излучения. Полученные значения доз лежат в диапазоне от 0,310 (Астраханская область) до 0,413 мЗв (Республика Тыва и Забайкальский край); для России в целом средневзвешенное по численности населения отдельных субъектов РФ значение этой дозы составляет 0,338 мЗв.

К регионам с низкими значениями доз за счет космического излучения относятся также Краснодарский

Таблица 3

Средние индивидуальные годовые эффективные дозы облучения населения субъектов РФ за счет космического излучения

[Table 3]

Average individual annual effective doses to the population of regions of Russia from exposure to the cosmic radiation]

Код [Code]	Субъект РФ [Region]	Доза, мЗв [Dose, mSv]	Код [Code]	Субъект РФ [Region]	Доза, мЗв [Dose, mSv]
1	Республика Адыгея [The Republic of Adygea]	0,321	42	Кемеровская область [Kemerovo Oblast]	0,346
2	Республика Башкортостан [The Republic of Bashkortostan]	0,342	43	Кировская область [Kirov Oblast]	0,341
3	Республика Бурятия [The Republic of Buryatia]	0,391	44	Костромская область [Kostroma Oblast]	0,336
4	Республика Алтай [The Altai Republic]	0,383	45	Курганская область [Kurgan Oblast]	0,334
5	Республика Дагестан [The Republic of Dagestan]	0,317	46	Курская область [Kursk Oblast]	0,346
6	Республика Ингушетия [The Republic of Ingushetia]	0,350	47	Ленинградская область [Leningrad Oblast]	0,331
7	Кабардино-Балкарская Республика [The Kabardino-Balkar Republic]	0,351	48	Липецкая область [Lipetsk Oblast]	0,341
8	Республика Калмыкия [The Republic of Kalmykia]	0,315	49	Магаданская область [Magadan Oblast]	0,332
9	Карачаево-Черкесская Республика [The Karachay-Cherkess Republic]	0,388	50	Московская область [Moscow Oblast]	0,341
10	Республика Карелия [The Republic of Karelia]	0,341	51	Мурманская область [Murmansk Oblast]	0,343
11	Республика Коми [The Komi Republic]	0,344	52	Нижегородская область [Nizhny Novgorod Oblast]	0,338
12	Республика Марий Эл [The Mari El Republic]	0,334	53	Новгородская область [Novgorod Oblast]	0,331
13	Республика Мордовия [The Republic of Mordovia]	0,342	54	Новосибирская область [Novosibirsk Oblast]	0,341
14	Республика Саха (Якутия) [The Republic of Sakha (Yakutia)]	0,359	55	Омская область [Omsk Oblast]	0,334
15	Республика Северная Осетия (Алания) [The Republic of North Ossetia – Alania]	0,373	56	Оренбургская область [Orenburg Oblast]	0,339
16	Республика Татарстан [The Republic of Tatarstan]	0,335	57	Орловская область [Oryol Oblast]	0,341
17	Республика Тыва [The Tyva Republic]	0,413	58	Пензенская область [Penza Oblast]	0,342
18	Удмуртская Республика [The Udmurt Republic]	0,340	59	Пермский край [Perm Krai]	0,340
19	Республика Хакасия [The Republic of Khakasia]	0,352	60	Псковская область [Pskov Oblast]	0,333
20	Чеченская Республика [The Chechen Republic]	0,321	61	Ростовская область [Rostov Oblast]	0,315

Код [Code]	Субъект РФ [Region]	Доза, мЗв [Dose, mSv]	Код [Code]	Субъект РФ [Region]	Доза, мЗв [Dose, mSv]
21	Чувашская Республика (Чувашия) [The Chuvash Republic]	0,336	62	Рязанская область [Ryazan Oblast]	0,336
22	Алтайский край [Altai Krai]	0,343	63	Самарская область [Samara Oblast]	0,335
23	Краснодарский край [Krasnodar Krai]	0,313	64	Саратовская область [Saratov Oblast]	0,333
24	Красноярский край (север) [Krasnoyarsk Krai, Northern part]	0,333	65	Сахалинская область [Sakhalin Oblast]	0,313
24	Красноярский край (центр) [Krasnoyarsk Krai, Central part]	0,344	66	Свердловская область [Sverdlovsk Oblast]	0,349
24	Красноярский край (юг) [Krasnoyarsk Krai, Southern part]	0,348	67	Смоленская область [Smolensk Oblast]	0,349
24	Красноярский край* [Krasnoyarsk Krai*]	0,347	68	Тамбовская область [Tambov Oblast]	0,338
25	Приморский край [Primorsky Krai]	0,314	69	Тверская область [Tver Oblast]	0,339
26	Ставропольский край [Stavropol Krai]	0,353	70	Томская область [Tomsk Oblast]	0,336
27	Хабаровский край [Khabarovsk Krai]	0,314	71	Тульская область [Tula Oblast]	0,344
28	Амурская область [Amur Oblast]	0,343	72	Тюменская область [Tyumen Oblast]	0,334
29	Архангельская область [Arkhangelsk Oblast]	0,336	73	Ульяновская область [Ulyanovsk Oblast]	0,341
30	Астраханская область [Astrakhan Oblast]	0,310	74	Челябинская область [Chelyabinsk Oblast]	0,354
31	Белгородская область [Belgorod Oblast]	0,340	75	Забайкальский край [Zabaykalsky Krai]	0,413
32	Брянская область [Bryansk Oblast]	0,345	76	Ярославская область [Yaroslavl Oblast]	0,336
33	Владимирская область [Vladimir Oblast]	0,339	77	Москва [Moscow]	0,339
34	Волгоградская область [Volgograd Oblast]	0,314	78	Санкт-Петербург [Saint-Petersburg]	0,329
35	Вологодская область [Vologda Oblast]	0,338	79	Еврейская автономная область [Jewish Autonomous Oblast]	0,317
36	Воронежская область [Voronezh Oblast]	0,339	83	Ненецкий автономный округ [Nenets Autonomous Okrug]	0,335
37	Ивановская область [Ivanovo Oblast]	0,337	86	Ханты-Мансийский автономный округ [Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Yugra]	0,338
38	Иркутская область [Irkutsk Oblast]	0,374	87	Чукотский автономный округ [Chukotka Autonomous Okrug]	0,340
39	Калининградская область [Kaliningrad Oblast]	0,328	89	Ямало-Ненецкий автономный округ [Yamalo-Nenets Autonomous Okrug]	0,338
40	Калужская область [Kaluga Oblast]	0,344	91	Республика Крым [The Republic of Crimea]	0,317
41	Камчатский край [Kamchatka Krai]	0,337	92	Севастополь [Sevastopol]	0,315

* – средневзвешенное по численности населения северной, центральной и южной частей края значение
[* – average value weighted over the population of the Northern, Central and Southern parts of the region]

край и Сахалинская область (0,313 мЗв), с высокими – Республика Бурятия (0,391 мЗв), Карачаево-Черкесская Республика (0,388 мЗв), Республика Алтай (0,383 мЗв).

Полученные значения средних индивидуальных годовых эффективных доз облучения населения субъектов РФ за счет космического излучения планируется включить в информационный сборник «Дозы облучения населения Российской Федерации в 2018 г.».

Литература

1. Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. Volume I: Sources. New York: United Nations; 2000, 654 p.
2. Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Annex B: Exposures of the public and workers from various sources of radiation. New York: United Nations; 2010, 241 p.
3. Романович, И.К. Природные источники ионизирующего излучения: дозы облучения, радиационные риски, профилактические мероприятия / И.К. Романович, И.П. Стамат, Т.А. Кормановская, Д.В. Кононенко [и др.]; под ред. акад. РАН Г.Г. Онищенко и проф. А.Ю. Поповой. – СПб.: ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева, 2018. – 432 с.
4. Барковский, А.Н. Дозы облучения населения Российской Федерации в 2016 году: информационный сборник / А.Н. Барковский, Н.К. Барышков, Г.Я. Брук, Б.Ф. Воробьев, Т.А. Кормановская, Л.В. Репин, И.К. Романович, Т.Н. Титова, В.С. Степанов, А.Г. Цовьянов, А.Г. Сивенков, В.Е. Журавлева. – СПб., 2017. – 78 с.
5. Барковский, А.Н. Дозы облучения населения Российской Федерации в 2017 году: информационный сборник / А.Н. Барковский, Руслан Р. Ахматдинов, Рустам Р. Ахматдинов, Н.К. Барышков, А.М. Библин, А.А. Братилова, Б.Ф. Воробьев, Т.А. Кормановская, И.К. Романович, Т.Н. Титова, В.Е. Журавлева, А.Г. Сивенков, А.Г. Цовьянов. – СПб., 2018. – 69 с.
6. База данных географических названий GeoNames: <http://www.geonames.org> (дата обращения: 15.05.2019)
7. Крисюк, Э.М. Уровни и последствия облучения населения / Э.М. Крисюк // АНРИ. – 2002. – № 1 (28). – С. 4–13.

Поступила: 15.05.2019 г.

Кононенко 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. **Адрес для переписки:** 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: d.kononenko@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

Для цитирования: Кононенко Д.В., Кормановская Т.А. Оценка доз облучения населения субъектов Российской Федерации за счет космического излучения // Радиационная гигиена. – 2019. – Т. 12, № 3. – С. 78–83. DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-3-78-83

Assessment of the doses to the population of the regions of Russia from exposure to the cosmic radiation

Dmitry V. Kononenko, Tatyana A. Kormanovskaya

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 paper presents the results of a refined calculation of the average individual annual effective doses to the population of the regions of Russia from exposure to the cosmic radiation. The population-weighted average values of the altitude and latitude of the main settlements, which are home to at least 50 percent of the population of the region, were used as the altitude and latitude of the region. In addition, all settlements with a population of at least 20 thousand people were included in the calculation. Coverage of the population of the regions of Russia in the calculation varies from 50.1 to 95.8 percent (excluding three cities of Federal importance with 100 percent coverage) with the average value of 62.4 percent. The number of settlements included in the calculation in different regions ranges from 1 to 63. The methodology of the dose calculation is based on

Dmitry V. Kononenko

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

Address for correspondence: Mira Str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: radon-and-life@yandex.ru

the approach described in the UNSCEAR 2000 Report. The obtained dose values for different regions range from 0.310 to 0.413 mSv. For Russia as a whole country, the population-weighted average individual annual effective dose from exposure to the cosmic radiation is 0.338 mSv.

Key words: *cosmic radiation, directly ionizing component, neutron component, cosmogenic radionuclides, effective dose, altitude, latitude, regions of Russia.*

References

1. Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. Volume I: Sources. New York: United Nations; 2000, 654 p.
2. Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Annex B: Exposures of the public and workers from various sources of radiation. New York: United Nations; 2010, 241 p.
3. Romanovich I.K., Stamat I.P., Kormanovskaya T.A., Kononenko D.V. Natural sources of ionizing radiation: radiation doses, radiation risks, preventive measures. St.Petersburg6 FBUN NIIRG im. P.V. Ramzaev, 2018, 432 p. (in Russian)
4. Barkovsky A.N., Baryshkov N.K., Bruk G.Ya., Vorobiev B.F., Kormanovskaya T.A., Repin L.V., Romanovich I.K., Titova T.N., Stepanov V.S., Tsovyarov A.G., Sivenkov A.G., Zhuravleva V.E. Radiation doses to the population of the Russian Federation in 2017: information collection. St.Petersburg, 2017, 78 p. (in Russian)
5. Barkovsky A.N., Akhmatdinov Ruslan R., Akhmatdinov Rustam R., Baryshkov N.K., Biblin A.M., Bratilova A.A., Vorobiev B.F., Kormanovskaya T.A., Romanovich I.K., Titova T.N., Zhuravleva V.E., Sivenkov A.G., Tsovyarov A.G. Radiation doses to the population of the Russian Federation in 2017: information collection. St.Petersburg, 2018, 69 p. (in Russian)
6. The GeoNames geographical database. – Available on: <http://www.geonames.org> (Accessed: 15.05.2019)
7. Krisyuk E.M. Levels and effects of public exposure. ANRI, 2002;1(28):4–13. (in Russian)

Received: May 15, 2019

For correspondence: Dmitry 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, Mira str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: d.kononenko@niirg.ru ORCID <https://orcid.org/0000-0002-1392-1226>

Tatyana 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, Saint-Petersburg, Russia

For citation: Kononenko D.V., Kormanovskaya T.A. Assessment of the doses to the population of the regions of Russia from exposure to the cosmic radiation. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene, 2019, Vol. 12, No. 3, pp. 78-83. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-3-78-83

Наследуемые эффекты у потомков, связанные с вредным воздействием на родителей (Обзор литературы)

С.Ф. Соснина, М.Э. Сокольников

Южно-Уральский институт биофизики Федерального медико-биологического агентства России,
Озёрск, Россия

Представлен обзор литературных данных по вопросу наследуемых эффектов у потомков вследствие контакта родителей с факторами мутагенного риска. Рассмотрены исследования различных факторов неблагоприятного воздействия на наследственный аппарат, в том числе химических, инфекционных, физических и биологических, показано влияние курения и возраста родителей на возникновение мутаций de novo. Особое внимание уделено обзору публикаций о роли радиационного фактора в генезе наследственных нарушений у потомства. Описаны этапы развития радиационной генетики, эволюция представлений о радиационном вреде. Представлены результаты экспериментальных, цитогенетических, молекулярно-генетических, эпидемиологических работ, анализирующих вклад родительского облучения в наследуемую патологию у потомков. Акцентируется внимание на «немишенном» эффектах радиации, приведены работы, доказывающие возможность трансгенерационной передачи нестабильности генома. Отмечен особый вклад исследований когорты потомков жертв атомных бомбардировок в Хиросиме и Нагасаки, которая считается основной научной платформой для оценки радиационного риска. Представлены статьи о потомках лиц, перенесших терапевтическое облучение, имевших профессиональный контакт с ионизирующим излучением, подвергшихся радиационному воздействию в результате аварии на Чернобыльской АЭС, испытаний ядерного оружия на Семипалатинском полигоне, хроническому облучению на радиоактивно-загрязненной территории реки Теча, местностях с природно-повышенной радиоактивностью. В итоге отмечено, что, несмотря на многочисленные подтверждения радиационно-индуцированных эффектов у потомства в экспериментальных и молекулярно-генетических исследованиях, результаты эпидемиологических работ остаются противоречивыми. Рассмотрены возможные причины для объяснения этих расхождений. Дано представление об эволюции взглядов на наследуемые эффекты в международной системе радиационной безопасности. Описан новый подход Международной комиссии по радиационной защите к наследственным рискам, показана динамика взвешивающего коэффициента для гонад в оценке эффективной дозы облучения. Представлены методы оценки наследуемых эффектов: прямой метод и метод удваивающей дозы. Акцентируется внимание на неопределенностях, сохраняющихся в современной оценке радиационного генетического вреда. Показана необходимость дальнейшего исследования радиационно-индуцируемых наследуемых эффектов. Рассмотрены перспективные направления изучения наследственных рисков. Описана возможность анализа наследуемых эффектов на примере когорты потомков работников производственного объединения «Маяк» — первого в стране предприятия атомной промышленности.

Ключевые слова: наследуемые эффекты, мутация, радиация, потомки облученных лиц, прекоцептивное облучение родителей, ПО «Маяк».

Введение

Научно-технический прогресс и широкое распространение различного рода токсикантов ставят человечество перед выбором между благами цивилизации и безопасным для здоровья проживанием. Вопрос о наследуемых эффектах у потомства вследствие негативных воздействий на родителей требует от сообщества ученых разработки критериев генетической безопасности последующих поколений. Целый ряд химических, физических, биологических агентов

способны вызывать неблагоприятные наследственные эффекты у потомства. Однако в силу чрезмерного интереса к радиации и особой социальной значимости тема радиационно-индуцированных последствий для человека является одной из наиболее разработанных.

Факторы неблагоприятного воздействия на наследственный аппарат

Мутагенный фактор – фактор внутренней или внешней среды, который вызывает повышение спонтанного

Соснина Светлана Фаридовна

Южно-Уральский институт биофизики Федерального медико-биологического агентства России

Адрес для переписки: 456780, Россия, Озёрск, Челябинская область, Озёрское шоссе, 19; E-mail: sosnina@subi.su

уровня aberrаций хромосом в популяции не менее чем на 0,1% [1, 2]. В качестве потенциальных причин для наследственных нарушений рассматриваются многочисленные эндогенные факторы, в той или иной мере способствующие повреждению генетических механизмов: инфекционные агенты [3, 4]; метаболиты гельминтов [5]; генотоксичность лазерного облучения [6], побочных продуктов при процессах очистки воды на основе ультрафиолетового излучения [7], влияние образа жизни [8] и др. Доказательство тому, что курение табака может способствовать развитию генетической патологии у потомков, в частности синдромов анеуплоидий, приводит в обзоре свыше 200 статей М.А. Beal et al. [9]. Для развития мутаций *de novo* некоторые авторы подчеркивают важность возраста родителей [10, 11], показав, что количество мутаций *de novo* возрастает у отцов с постоянной скоростью, в то время как мутации у матерей увеличиваются с возрастом ускоренными темпами.

Мутагенному действию различных химических соединений посвящены многочисленные публикации [12–14], в которых отмечено, что генотоксические эффекты химических веществ зависят от путей поступления, скорости биотрансформации и выведения из организма. К настоящему времени зарегистрировано более 54 миллионов органических и неорганических веществ [15], генетическая безопасность большинства которых до сих пор не изучена.

Несмотря на то, что по сравнению с радиацией химические мутагены образуют значительно более широкий спектр генетических изменений и вызывают резкое возрастание выхода мутаций [12], последствия радиационного воздействия относятся к наиболее часто обсуждаемым вопросам. По мнению Л.А. Ильина, особое отношение к опасности ионизирующей радиации в сравнении с более опасными, но привычными химическими агентами, обладающими более выраженными канцерогенными и генотоксическими свойствами, чем ионизирующая радиация, может вызвать излишнюю тревогу [16].

Научный интерес к проблеме радиационного вреда возник в 1920-е гг. Открытие влияния ионизирующего излучения на образование мутаций в зарубежной литературе приписывают Н.Д. Muller, опубликовавшему в 1927 г. результаты экспериментов по действию рентгеновского излучения на дрозофил. Однако отечественные ученые Г.А. Надсон и Г.С. Филиппов еще в 1925 г. описали появление «стойких радиорас», т. е. мутаций, у дрожжей, подвергнутых воздействию радия [2, 17].

С середины 1940-х гг. в связи с появлением ядерного оружия и началом использования атомной энергии в науке и в производстве резко возросло число исследований по радиационной генетике, особенно в ее прикладных аспектах. Было выяснено, что ионизирующее излучение вызывает мутации всех типов – точковые (стабильные изменения на уровне нуклеотидов ДНК), хромосомные и геномные [2]. ДНК является основной мишенью для биологических эффектов радиации, под воздействием которой возможны одонитевые и двунитевые разрывы или другие изменения ДНК, нарушение репарации которых может привести к гибели клеток, хромосомной нестабильности, мутации и/или канцерогенезу [18, 19]. В то же время С.П. Ярмоненко [17] подчеркивает, что не существует каких-либо специфических радиационных

мутаций, облучение лишь увеличивает вероятность проявления спонтанных мутаций, регистрирующихся в естественных природных условиях.

После длительного изучения биологических эффектов ионизирующих излучений с позиций общепринятой «теории мишени» в 1960-х гг. стали появляться данные о так называемых «немишенных» (untargeted), неклассических эффектах, проявляющихся в отдаленные сроки после воздействия радиации на клетки и не подчиняющихся традиционной зависимости «доза – эффект». Согласно терминологии современной радиационной генетики, «немишенные» – это эффекты, которые не являются прямым результатом повреждений ДНК. К ним относятся: гиперчувствительность, проявляющаяся в повышенной радиочувствительности клеток; адаптивный ответ, выражающийся в резистентности клеток к последующему воздействию ионизирующего облучения; гормезис, определяемый как стимулирующее действие облучения; экспрессия генов; эффект «свидетеля» (bystander effect), когда в клетках, непосредственно не подвергавшихся облучению, обнаруживаются повреждения; нестабильность генома, которая регистрируется как изменения у потомков облученных клеток (хромосомные aberrации, мутации, отсроченная гибель клеток и др.) [2, 20, 21]. На цитогенетическом уровне трансмиссивная хромосомная нестабильность передается через облученные половые клетки родителей в соматические клетки их потомков [2]. Открытие того, что генетические эффекты действия радиации не ограничиваются изменениями, обнаруживаемыми непосредственно после облучения, активизировало различного рода исследования пострадиационных наследуемых эффектов.

Экспериментальные исследования наследуемых эффектов

Имеются многочисленные исследования генетических эффектов радиационного воздействия, проведенные в экспериментальных условиях. В.А. Бударков [22] в опытах по изучению последствий радиационного воздействия в семи поколениях потомков кур, подвергнутых хроническому воздействию ^{131}I , описал повышенную постнатальную смертность, ускоренное половое созревание, новообразования в области глаз, шеи, челюстей в первых трех поколениях; в 4-м и 5-м поколениях отмечались аномалии, представленные дефектами в области головы (отсутствие или деформация глаз, Х-образный перекрест челюстей).

И.Ю. Нефедов [23] оценил наследственные последствия облучения половозрелых крыс линии Вистар у 27 669 потомков первого, второго и третьего поколений, показав, что генетическая радиопоражаемость зависит от стадий гаметогенеза: наиболее чувствительными являются зрелые ооциты и сперматиды (для потомков первого поколения) / сперматоциты (для потомков второго поколения). Автор также отмечает, что последствия облучения обоих предков проявляются у потомства не менее чем в двух поколениях, при этом летальные эффекты у потомства первого поколения реализуются преимущественно в эмбриогенезе, а во втором поколении – в раннем постнатальном онтогенезе. Значение стадий гаметогенеза для генетической радиопоражаемости подтверждают J. Asakawa et al. [24] в скрининге 2,26 миллио-

нов фрагментов ДНК из потомства (F1) самок крыс, подвергнутых облучению в 2,5 Гр в ранней стадии овогенеза. Анализ микросателлитных мутаций и делеций позволил авторам сделать вывод, что незрелые ооциты менее чувствительны к индукции мутации, чем зрелые ооциты.

Немутагенные немишенные радиационные эффекты в виде наследуемого снижения жизнеспособности клеток, индуцированного лучевыми воздействиями в малых дозах, анализировались И.Б. Бычковой [25] с описанием экспериментальных данных, полученных на объектах разной организации. Показана возможность наследования этих изменений при бесполом размножении простейших и половом размножении многоклеточных организмов потомками первого поколения.

Обзор экспериментальных работ, доказывающих возможность трансгенерационной, т.е. через половые клетки облученных родителей, передачи нестабильности генома и повышенного риска канцерогенеза у потомков, приводит И.Е. Воробцова [26]. Индукцию нестабильности генома в соматических клетках потомства облученных родителей описывают Л.А. Фоменко и др. [27]: отмечено, что повышение частоты микроядер в эритроцитах костного мозга у потомков облученных мышей пропорционально величине дозы облучения родителей. Анализ трансгенерационных эффектов у потомков облученных мышей и крыс показывает, что наблюдаются предрасположенность к возникновению злокачественных опухолей, сокращение латентного периода возникновения лейкозов, повышенные уровни хромосомных aberrаций и микроядер [19, 28].

Рамки статьи не позволяют описать многообразие экспериментальных исследований. Важно отразить, что, несмотря на бесспорное подтверждение пострадиационных наследуемых эффектов в экспериментальных работах, проведенных в большинстве своём на мелких грызунах, и на отнесение крыс к референсным видам биоты [16], прямой перенос полученных данных на человека невозможен.

Цитогенетические и молекулярно-генетические исследования наследуемых эффектов у потомков облученных лиц

Цитогенетический метод, основанный на микроскопическом изучении структуры и числа хромосом человека [13], и молекулярно-генетический анализ нуклеотидной последовательности ДНК используются для биоиндикации мутагенного эффекта ионизирующего излучения. Исследования такого рода среди потомков облученных лиц неоднозначны. Генетический анализ человека затруднен длительностью репродуктивного периода человека, малочисленностью потомства, невозможностью экспериментальных браков и стандартизации среды, большим числом хромосом [1].

Особый вклад в изучение последствий родительского облучения вносят исследования когорты потомков жертв атомных бомбардировок в Хиросиме и Нагасаки. J.V. Neel и W.J. Schull [29] подчеркивают, что первые дети, зачатые после взрывов (помимо преждевременных прекращений беременностей), родились в мае 1946 г., и уже в ноябре 1946 г. началось планирование генетических исследований. В настоящее время когорта потомков первого поколения (F1), зачатых после облучения родите-

лей, включает около 77 тысяч человек [30]. Как отмечает N. Nakamura [31], среди детей лиц, подвергшихся острому радиационному воздействию при взрывах бомб, пока не выявлено признаков генетических эффектов. Однако автор акцентирует внимание на том, что средняя доза облучения оставшихся в живых родителей когорты потомков F1 находится на уровне 0,4 Гр по сравнению с дозами, часто используемыми в экспериментах с мутагенезом мышинных клеток и обычно составляющими 3 Гр и больше; и маловероятно, что люди являются исключением среди радиоиндуцированных мутаций зародышевых клеток, поэтому задача наблюдения генетических эффектов в когорте F1 остается.

Н.Д. Окладникова и др. [32] провели цитогенетическое обследование потомков (I поколение) работников первого в стране атомного предприятия – производственного объединения (ПО) «Маяк», подвергшихся в 1950–1960-е гг. профессиональному облучению в дозах, превышающих допустимые для персонала, в сравнении с потомками необлученных лиц. Анализ 43 100 метафазных пластинок с групповым кариотипированием хромосом в каждой метафазе и учетом всех видов хромосомных aberrаций не выявил статистически значимых различий между группами потомков облученных родителей и контрольной группой детей.

Трансмиссию геномной нестабильности потомкам в 95 семейных тройках, где только отцы подверглись профессиональному пролонгированному облучению на ПО «Маяк», исследовали Г.Г. Русина и др. [33]. Отмечена тенденция увеличения частоты мутаций минисателлита CEB1, локализованного на 2-й хромосоме, в общей группе семей с отцами, подвергшимися облучению, и в группе семей с отцами, подвергшимися облучению в диапазоне доз 0,5–1,0 Гр. Распределение генетических маркеров у потомков облученных людей рассматривает В.И. Тельнов [34], отмечая изменения в распределении генотипов и аллелей генетической системы гаптоглобина у потомков, один или оба родителя которых в результате работы на ПО «Маяк» получили прекоцептивную суммарную дозу внешнего гамма-облучения более 200 сГр.

A. Fucic et al. [35] в обзорной статье о повреждениях генома среди детей ликвидаторов аварии на Чернобыльской АЭС и потомков лиц, проживавших на загрязненной территории, описывают статистически более высокую частоту дицентрических и кольцевых хромосом, хромосомных разрывов, ацентрических фрагментов, транслокаций и микроядер, чем в контроле.

Коллектив авторов во главе с А.В. Аклеевым [28] изучил адаптивный ответ у потомков первого поколения, родители которых подверглись хроническому облучению на радиоактивно-загрязненной территории реки Теча. Микроядерный тест показал достоверное снижение адаптивного ответа среди потомков обоих облученных родителей: доля лиц с достоверным адаптивным ответом была снижена с 19,5% в контроле до 6,8%; отмечена тенденция к повышению радиочувствительности клеток после адаптирующего облучения. Это позволило авторам предположить, что у человека может происходить трансгенерационная передача радиационно-индуцированной нестабильности генома, приводящая к повышенному уровню мутаций, хромосомных aberrаций, пренатальной смертности, врожденных пороков развития и др.

Цитогенетические исследования у потомков лиц, подвергшихся радиационному воздействию в результате испытаний ядерного оружия на Семипалатинском полигоне, показали существенное превышение частоты хромосомных aberrаций и маркеров радиационного повреждения в группах, чьи родители подверглись облучению в дозах до 837 мЗв, что указывает на высокий уровень генетической нестабильности среди потомков экспонированного радиацией населения Казахстана [36].

В.Г. Безлепкии и др. [37], анализируя трансгенерационные молекулярно-генетические эффекты пролонгированного воздействия ионизирующей радиации у работников предприятия ядерной промышленности, выявили достоверное повышение уровня полиморфизма микросателлит-ассоциированных повторов ДНК клеток периферической крови у потомков лиц с накопленной прекоцептивной дозой выше 2,0 Гр; отмечен повышенный уровень частоты мутаций в гене p53 и гетероплазмии митохондриальной ДНК среди потомков, отцы или матери которых имели до зачатия потомства накопленную дозу выше 2,0 и 3,0 Гр соответственно, независимо от того, кто из родителей подвергся воздействию радиации в прекоцептивном периоде.

Вопросы генетической эпидемиологии наследуемых мутаций в минисателлитной ДНК в когортах людей, считающихся облученными малыми дозами радиации, остаются одними из самых дискуссионных [21, 38–40]. А.Н. Котеров [39], подытоживая многолетний анализ проблемы дозовых зависимостей для радиационно-индуцированной нестабильности генома, считает, что вероятный порог для её индукции составляет 0,5 Гр радиации с низкой ЛПЭ, и, соответственно, геномная нестабильность не дает вклада в развитие эффектов для здоровья при малых дозах редкоионизирующей радиации. Ю.Е. Дуброва [40] в обзоре многочисленных публикаций отмечает, что прогресс современных методологий анализа структуры ДНК позволяет приблизиться к поставленной много лет назад цели оценки генетических последствий воздействия мутагенов на человека.

Эпидемиологические исследования наследуемых эффектов у потомков облученных лиц

Анализ последствий прекоцептивного родительского облучения (до зачатия ребенка) представлен в литературе достаточно широко. Однако, несмотря на многочисленные подтверждения генотоксического действия радиации в экспериментальных и молекулярно-генетических исследованиях, эпидемиологическая оценка наследуемых эффектов у потомков лиц, подвергшихся прекоцептивному радиационному воздействию, трактуется как нерешённая проблема [41–45].

Продолжительное когортное наблюдение за потомками жертв атомных бомбардировок в Японии не выявило повышенного риска онкологической заболеваемости и смертности от рака или неонкологических заболеваний в зависимости от дозы облучения родителей [30, 46]. Особое внимание в этом анализе было уделено онкопатологии с наследственным характером (опухоль Вильмса, ретинобластома и др.), при которой в патогенез вовлечены генетические аномалии. J.V. Neel и W.J. Schull [29] утверждают, что зафиксированные случаи микроцефалии, умственной отсталости и других аномалий среди япон-

ских детей отражают тератогенные эффекты радиации (из-за облучения *in utero*), но не последствия генетического повреждения.

Для того чтобы выяснить, привело ли родительское облучение от атомного взрыва к повышенному риску распространенных полигенных многофакторных заболеваний – гипертонии, гиперхолестеринемии, сахарного диабета, стенокардии, инфаркта миокарда или инсульта – в когорте F1, Y. Tatsukawa et al. [47] проанализировали результаты медицинских осмотров 11 951 потомка, зачатых после бомбардировки. Авторы не нашли доказательств тому, что отцовская или материнская доза облучения или сумма их доз были связаны с повышенным риском возникновения многофакторных заболеваний у потомства. Тем не менее, в статье отмечено, что исследуемая популяция всё ещё находится в среднем возрасте (48,6 года), и продолжение наблюдений даст более информативные оценки риска наследственных эффектов.

Лучевая и химиотерапия с использованием алкилирующих агентов являются повреждающими ДНК методами лечения у онкологических больных. Подтверждение того, что радиационное воздействие в детском возрасте не приводит к какому-либо измеряемому риску наследуемых эффектов у потомков, показано на группе пациентов, подвергшихся лучевой терапии гемангиом в младенчестве [43]. L.B. Signorello et al. [48] провели ретроспективный когортный анализ среди 4699 детей пациентов, перенесших терапевтическое облучение гонад, и сделали вывод об отсутствии увеличения риска врожденных аномалий. Аналогичные результаты описывают J.F. Winther et al. [49] при когортном анализе генетических заболеваний среди потомков онкобольных в Дании. Статистически значимая связь между облучением живота и таза и пороками развития, мертворождением и неонатальной смертностью не наблюдалась ни у детей выживших женщин в целом, ни у детей матерей, получавших высокие дозы облучения на матку. Вместе с тем, авторы обосновывают необходимость проведения более масштабных исследований для дальнейшего изучения потенциальных связей между облучением органов малого таза и генетическими заболеваниями у потомков.

Н.П. Петрушкина и др. [50], анализируя частоту синдрома Дауна среди 5273 потомков работников ПО «Маяк», подвергшихся прекоцептивному внешнему гамма-облучению в дозах до 486 сГр, не нашли ассоциации между анеуплоидией и прекоцептивным облучением родителей, отметив преобладание синдрома у потомков матерей старше 30 лет.

Существенное преобладание мертворождаемости и перинатальных потерь выявлено среди 3234 потомков прекоцептивно облученных на производстве матерей в дозах пролонгированного внешнего гамма-облучения до 951 сГр и внутреннего альфа-облучения инкорпорированным плутонием до 14,2 сГр в сравнении с 11 741 (контроль). Показатель внутриутробной гибели плода в основной группе составил $5,6 \times 10^3$, что достоверно превышало $2,2 \times 10^3$ в группе сравнения [51].

По данным Л.С. Балевой и др. [52], эпидемиологические наблюдения за детьми от облученных родителей в регионах радионуклидного загрязнения после аварии на Чернобыльской АЭС, указывают на рост распространенности класса заболеваний «Психические расстрой-

ства и расстройства поведения»; у детей с задержкой психического развития (ЗПР) обнаружены хромосомные aberrации (делеции, дупликации) и геномные вариации, которые могут иметь отношение к нарушению интеллектуального развития и пересекаться с наследственными заболеваниями и хромосомными синдромами с ЗПР.

Для потомков первого и второго поколения женщин, подвергшихся воздействию радиации в зоне Семипалатинского полигона, описана высокая частота заболеваний щитовидной железы, включая аутоиммунный тиреоидит и малигнизацию [53]. В то же время в местностях с природно-повышенной радиоактивностью убедительных доказательств вреда здоровью резидентов и их потомков не обнаружено [43].

Ряд авторов указывают на обратную зависимость вторичного соотношения полов от суммарной дозы на гонады родителей [54] и значимые отклонения антропометрических параметров у детей, родители которых подвергались прекоцептивному хроническому радиационному воздействию [55, 56].

M.P. Little et al. [57] в обзоре свыше ста публикаций, описывающих наследуемые эффекты у детей ликвидаторов аварии на Чернобыльской АЭС, потомков лиц, подвергшихся диагностическому, терапевтическому, производственному радиационному воздействию, делают вывод, что трансгенерационные эффекты радиации не оказали существенного влияния на здоровье человека. Приводя ряд работ с доказательствами неблагоприятных наследуемых эффектов в семьях персонала атомной промышленности, повышенного риска самопроизвольных аборт у потомства женщин, подвергшихся воздействию радиотерапии в Дании, избыточного риска мертворождений у потомков ядерщиков Селлафилда, авторы обзора указывают на методологические проблемы данных исследований, в частности, на получение сведений из анкет, ограниченную дозиметрию, отсутствие учета ряда фоновых факторов, особенности статистического анализа.

В научных положениях Публикации 103 МКРЗ от 2007 г. [41] в отношении риска наследственных эффектов сделан вывод, что прямые доказательства тому, что радиационное воздействие на родителей приводит к избыточному выходу наследственных заболеваний у их потомства, по-прежнему отсутствуют.

Суммируя обзор публикаций о пострадиационных наследуемых эффектах, следует отметить, что в качестве причин для объяснения отличий результатов эпидемиологических исследований от экспериментальных рассматриваются: удлинение всех жизненных циклов у человека (в том числе спермато- и эмбриогенеза); малое число потомков у людей; относительно низкие уровни родительского облучения в сравнении с дозами в эксперименте; длительный интервал между отцовским облучением и зачатием ребенка; недостаток статистической мощности эпидемиологических работ; неопределенность соотношения характеристик «доза – эффект»; воздействие конкурирующих рисков; вероятностный характер и длительный латентный период при некоторых наследуемых заболеваниях у человека; отсутствие феномена спонтанных аборт у грызунов, что приводит к выявлению различных наследуемых эффектов в эксперименте.

Расхождения между эпидемиологическими и молекулярно-генетическими исследованиями многие авто-

ры объясняют эволюционно сформированной устойчивостью генетического материала и механизмов генетической репарации у человека, элиминирующих возникающие мутации, что не приводит к реализации наследственных эффектов [16, 17, 29].

История представлений о наследуемых эффектах в международной системе радиационной безопасности

В 1948 г. впервые в рекомендации Международной комиссии по радиационной защите (МКРЗ) было введено понятие «критические органы» – «органы, облучение которых этой дозой причиняет наибольший вред живому организму», к ним были отнесены гонады; было продекларировано, что при облучении гонад возможно повреждение генетических структур, ответственных за передачу наследственной патологии. Если вначале обсуждалась опасность облучения для людей, непосредственно работающих с радионуклидами, то в дальнейшем особое внимание стали уделять радиационной безопасности следующих поколений [16, 58].

Первые специальные документы МКРЗ, содержащие научные принципы к обоснованию ограничений облучения лиц репродуктивного возраста, были созданы в 1966 г. и 1969 г., в которых гонады, наряду с красным костным мозгом, относились к наиболее радиочувствительным критическим органам.

МКРЗ в 1978 г. ввело понятие эффективной дозы как меры радиогенного риска, позволяющей учитывать ущерб, наносимый организму ионизирующей радиацией при любом сценарии облучения: остром, хроническом, облучении всего тела, отдельных его участков или даже отдельных органов. Первоначально предполагалось, что наибольший вред, связанный с действием ионизирующего излучения, будет реализован в последующих поколениях, и для гонад был принят наиболее высокий коэффициент (позднее названный взвешивающим коэффициентом ткани, учитывающим различия в радиочувствительности тканей к индукции стохастических эффектов) – 0,25 от общей величины ущерба для всех облучаемых органов, принятых за единицу. По мере накопления знаний, полученных из эпидемиологических исследований о сравнении вклада генетических эффектов в ущерб здоровью, эта точка зрения претерпела изменения.

Аргументация разделения биологических эффектов на стохастические и детерминированные дана МКРЗ в 1990 г. Генетические (наследственные) последствия в международной системе радиационной безопасности отнесены к стохастическим эффектам облучения. Сделанные оценки доз пороговых эффектов изменили представление о радиочувствительности мужских и женских гонад. Было показано, что яйцники по эффекту стерильности более чувствительны, чем семенники; наследуемые эффекты определены как подлежащие контролю. Однако сделано уточнение, что ранее оценки риска генетических радиационно-индуцированных эффектов были завышены и включали, наряду с менделевскими и хромосомными, также и многофакторные заболевания (включая врожденные пороки развития), которые в новую оценку в тот период не были включены. Взвешивающий коэффициент для гонад в оценке эффективной дозы был снижен до 0,2. Генетически значимая доза определена

как доза, полученная к 30-летнему возрасту (т.е. среднему репродуктивному возрасту) и составляющая 40% от суммарной дозы [41, 58].

К методам оценки наследуемых эффектов в международной системе радиационной безопасности относятся прямой метод и метод удваивающей дозы. Прямой метод на основе результатов цитогенетического анализа позволяет оценить абсолютную вероятность наследственных нарушений, вызванных радиацией, по частоте доминантных мутаций. Учитывая отсутствие данных о радиационно-индуцированных заболеваниях человека, с 1950-х гг. разрабатывались косвенные методы. Одним из таких методов, который используется с начала 1970-х гг. до сих пор, является метод удваивающей дозы. Удваивающая доза (DD) – это доза излучения, необходимая для создания дополнительно такого числа мутаций, которое возникает спонтанно в одном поколении. В идеале она оценивается с помощью отношения средних уровней спонтанной и индуцированной мутации для заданного набора генов [41]. Значение DD, использованное до выхода отчета НКДАР ООН от 1993 г., было равно 1 Гр (для хронического воздействия излучения с низкой ЛПЭ) и полностью основывалось на данных по спонтанным и индуцированным уровням рецессивных мутаций, полученных для семи генов мышей.

В дальнейшем достижения теоретических и экспериментальных исследований в области генетики человека позволили провести более точную оценку генетических рисков. В 2007 г. для пересмотренных оценок среднего уровня спонтанных мутаций, равного $(2,95 \pm 0,64) \times 10^{-6} \text{ ген}^{-1} \text{ поколение}^{-1}$ для генов человека, и для среднего уровня индуцированных мутаций, равного $(0,36 \pm 0,10) \times 10^{-5} \text{ ген}^{-1} \text{ Гр}^{-1}$ для генов мыши, новое значение удваивающей дозы стало $0,82 \pm 0,29$ Гр. Так как эта оценка мало отличалась от используемой ранее, чтобы избежать ненужной неточности, было предложено и далее использовать оценку DD для человека, равную 1 Гр при малой мощности дозы, отметив, что она изменена концептуально (т.е. с использованием данных по человеку для спонтанного и данных по мыши для индуцированного уровня) и подкреплена большим объемом данных, чем это было ранее [41, 42].

Положение, что доза, удваивающая спонтанные мутации у человека, находится в пределах 0,1–1 Зв, означает, что допустимые дозы облучения должны быть на уровне, вызывающем незначительное увеличение скорости возникновения мутаций у людей, которые ведут радиационно-опасные работы [16]. Основным принципом в международных рекомендациях по защите человека от облучения с 1990 г. является принцип снижения рисков стохастических эффектов до разумно достижимых уровней.

Получение новых доказательств о том, что большие многокусные делеции генома составляют доминирующий класс радиационно-индуцированных мутаций, дало основания полагать, что только часть этих событий мультигенной утраты будет совместима с развитием зародыша/плода и живым рождением, и основные неблагоприятные генетические эффекты у человека, скорее всего, принимают форму мультисистемных аномалий развития, а не заболеваний, связанных с дефектом одного гена [41]. В связи с этим МКРЗ в 2007 г. пересмотрела ряд значений взвешивающих коэффициентов, существенно

снизив взвешивающий коэффициент для гонад в оценке эффективной дозы облучения до 0,08, и предложила оценивать экспрессию генетических рисков только до второго поколения. Однако Комиссия подчеркивает, что это снижение величины взвешивающего коэффициента для гонад не дает основания для допущения увеличения уровня контролируемого облучения гонад.

Согласно современным представлениям, как для радиационно-индуцированного рака, так и для наследственных заболеваний, вероятность развития такого эффекта, но не его тяжесть, зависит от дозы. Общее предположение радиационной защиты состоит в том, что риск таких стохастических эффектов в диапазоне малых доз линейно зависит от дозы, а порог дозы при этом отсутствует (линейная беспороговая модель) [38, 42, 43]. Предполагая линейный характер зависимости эффекта от дозы в области малых доз, суммарный вред, обусловленный избыточными случаями рака и наследуемых эффектов, сохранен МКРЗ неизменным и равен приблизительно 5% на Зв [41]. Наиболее значительное изменение в сравнении с прежней оценкой состоит в 6–8-кратном снижении коэффициента номинального риска для наследственных эффектов: в настоящее время коэффициенты вероятности развития наследственных заболеваний в двух первых поколениях с учетом радиационного вреда равны $0,2 \times 10^{-2} \text{ Зв}^{-1}$ для населения в целом и $0,1 \times 10^{-2} \text{ Зв}^{-1}$ для взрослых работников.

Было также отмечено, что почти все хронические заболевания имеют генетическую компоненту, но, поскольку большая часть их является мультигенной и многофакторной, мутационная компонента (т.е. связанность этих заболеваний с нарушением уровня мутации) мала, так что хронические заболевания дают минимальный ответ на радиационно-индуцированный рост уровня мутаций. Тем не менее, хронические многофакторные заболевания были включены в современную оценку наследственных рисков с разработкой методов оценки репрезентативности их частоты к повышению уровня мутаций (например, многофакторная пороговая модель).

В отношении эпигенетических процессов, контрастирующих с хорошо известной радиобиологической концепцией прямого повреждения ДНК, система радиационной защиты [41, 42] констатирует неопределенность их вклада в соотношение «Доза – эффект» и полагает, что к настоящему времени невозможно убедительно обобщить данные по этим процессам, чтобы вынести суждения, необходимые для радиационной защиты.

В итоге, несмотря на то, что прямых доказательств существования радиационного риска наследственных заболеваний у человека не имеется, МКРЗ, учитывая достаточно убедительные экспериментальные наблюдения, для исключения возможной недооценки признала необходимым оставить риск наследственных эффектов в своей системе радиационной защиты.

Перспективные направления изучения наследуемых радиационных эффектов

В Публикации 103 МКРЗ [41] выделены три равнозначных элемента, на которых основана разработка системы радиационной защиты: дозиметрия, экспериментальные исследования (радиобиология) и эпидемиология.

С целью улучшения дозиметрической составляющей расчета оценок наследственных рисков необходимо продолжение работ по моделированию геометрии внешнего облучения, биокинетики поступления и удержания в организме инкорпорированных радионуклидов. МКРЗ признает недостатки точности дозиметрических моделей и констатирует, что неопределенности оценок доз внутреннего облучения, включая биокинетику радионуклидов, превышают неопределенности оценок при внешнем облучении. В то же время снижение гонадного риска и его окончательное значение зависят от поступления новой информации и пересмотра подходов к оценке рисков наследственных заболеваний [41].

В отношении экспериментальных исследований дальнейшему анализу подлежат цитогенетические и молекулярно-генетические радиационно-индуцированные изменения с определением зависимости «доза – эффект» для сценариев как внешнего, так и внутреннего облучения. Прояснения требуют вопросы биотрансформации некоторых радионуклидов, радиочувствительности ДНК мыши и человека, генотоксических эффектов малых доз радиации. Как в экспериментальной среде, так и среди облученных лиц существует потребность в исследованиях специфических маркеров повреждения ДНК как функции низкой дозы ионизирующего излучения, используемых в дальнейшем для количественной оценки уровней облучения; в определении механизмов нарушения репарации радиационно-индуцированных геномных повреждений. Невыясненным вопросом в молекулярно-генетических исследованиях остается наследование предрасположенности к неоплазмам потомков лиц с радиационно-индуцированным раком. Важным для оценки риска наследуемых пострадиационных последствий является продолжение исследований немитотических эффектов и эпигенетических процессов в экспериментальных условиях и среди потомков облученных лиц. Имеющиеся знания о роли индуцированной геномной нестабильности, эффекта свидетеля и адаптивного отклика в развитии радиационно-индуцированных биологических эффектов недостаточно хорошо проработаны для целей радиационной защиты [41].

В качестве перспективных направлений в эпидемиологических исследованиях можно рассматривать: 1) поиски наследуемых эффектов среди потомков, прекоцептивно облученных в результате аварийного воздействия радионуклидов на АЭС «Фукусима-1», дальнейший мониторинг здоровья потомков ликвидаторов аварии на Чернобыльской АЭС и потомков лиц, проживающих на радиоактивно загрязненных территориях; 2) продолжение наблюдения когорты потомков жертв атомной бомбардировки в течение следующих 20 лет важно для уточнения оценки рисков наследуемых эффектов [30]; 3) оценка неблагоприятных исходов беременности и родов, а также психофизического развития и соматического здоровья потомков лиц, перенесших терапевтическое облучение и подвергшихся воздействию ионизирующего излучения в производственных условиях с опорой на индивидуальные оценки доз; 4) генетические последствия медицинского радиационного воздействия лиц, подвергшихся компьютерной томографии, позитронно-эмиссионной томографии, интервенционному радиологическому вмешательству и др.

Согласно планам Комитета по биологическим эффектам ионизирующей радиации (BEIR) [42], для последующего изучения радиационных эффектов, в том числе наследуемых, необходима организация всемирных консорциумов для регистрации технических данных и полученных пациентами доз от лучевой терапии, рентгеновских и изотопных методов визуализации с использованием единого подхода в сборе данных. В качестве примеров исследований, которые могут привести новые и/или более качественные данные, M.P. Little et al. приводят более обширные исследования смертности, низкого веса при рождении и других неблагоприятных исходов беременности у потомков облученных отцов, т.к. доступные данные скудны [57].

В связи с этим представляют интерес дальнейшие исследования среди потомков работников ПО «Маяк», когорты персонала которого насчитывает более 30 тыс. работников 1948–2015 гг. найма. Отличительными особенностями когорты работников ПО «Маяк» от других когорт в мире являются: длительный период наблюдения, сопоставимый с данными японского Фонда исследований радиационных эффектов (RERF) у жертв атомных бомбардировок и их потомков, но характеризующий пролонгированное радиационное воздействие как внешнего, так и внутреннего облучения в дозах, иногда превышавших предельно допустимые из-за несовершенства средств индивидуальной защиты в период становления технологического процесса; детальные сведения о профмаршруте и измеренные индивидуальные дозы персонала; высокая доля женского персонала (25%), подвергшегося действию ионизирующего излучения в репродуктивном возрасте; единое медицинское обеспечение для работников предприятия и населения закрытого административно-территориального образования, близлежащего к ПО «Маяк». Всё это позволяет рассматривать когорту потомков работников ПО «Маяк» в качестве одной из наиболее показательных в мире для оценки наследуемых эффектов.

Заключение

Краткое рассмотрение литературных источников по вопросам наследуемых эффектов показало, что при всем многообразии генотоксикантов вопрос пострадиационных наследуемых эффектов является наиболее разработанным. Несмотря на отсутствие в настоящее время прямых подтверждений наследственных радиационных эффектов среди людей, учитывая бесспорные доказательства в экспериментальных исследованиях, международная система радиационной безопасности продолжает разработку новых подходов к оценке генетических рисков радиации у человека.

Литература

1. Большая медицинская энциклопедия: [В 30-ти т. / АМН СССР]. Гл. ред. Б.В. Петровский. – 3-е изд. – М.: Советская энциклопедия. – 1981. – Т. 16. – 512 с.
2. Дёмина, Э.А. Радиационная цитогенетика. Русско-английский словарь-справочник [Справочное издание] / Э.А. Дёмина [и др.]. – К.: Здоров'я, 2009. – 368 с.
3. Brandão Pde T., Gomes-Filho I.S., Cruz S.S., et al. Can periodontal infection induce genotoxic effects? Acta Odontol Scand. 2015; 73(3): 219-25.
4. Poplawski T., Chojnacki C., Czubatka A., et al. Helicobacter pylori infection and antioxidants can modulate the genotoxic

- effects of heterocyclic amines in gastric mucosa cells. *Mol Biol Rep.* 2013; 40(8): 5205-12.
5. Бекиш, В.Я. Механизмы генотоксических эффектов в соматических и генеративных клетках хозяина при гельминтозах / В.Я. Бекиш, О.-Я.Л. Бекиш // Вестник Витебского государственного медицинского университета. – 2005. – Т. 4, № 4. – С. 73-79.
 6. Morkunas V., Gabryte E., Vengris M., et al. DNA Damage in Bone Marrow Cells Induced by Femtosecond and Nanosecond Ultraviolet Laser Pulses. *Photomed Laser Surg.* 2015; 33(12):585-91.
 7. Zhang A., Jia A., Park M., et al. Genotoxicity assay and potential byproduct identification during different UV-based water treatment processes. *Chemosphere.* 2018; 217:176-182.
 8. Linschooten J.O., Verhofstad N., Gutzkow K., et al. Paternal lifestyle as a potential source of germline mutations transmitted to offspring. *FASEB J.* 2013; 27(7):2873-9.
 9. Beal M.A., Yauk C.L., Marchetti F. From sperm to offspring: Assessing the heritable genetic consequences of paternal smoking and potential public health impacts. *Mutat Res.* 2017 Jul; 773:26-50.
 10. Kong A., Frigge M.L., Masson G., et al. Rate of de novo mutations and the importance of father's age to disease risk. *Nature.* 2012 Aug 23; 488(7412):471-5.
 11. Wong W.S., Solomon B.D., Bodian D.L., et al. New observations on maternal age effect on germline de novo mutations. *Nat Commun.* 2016 Jan 19; 7: 10486.
 12. Абилов, С.К. Химические мутагены и генетическая токсикология / С.К. Абилов // Природа. – 2012. – № 10 (1166). – С. 39-46.
 13. Минина, В.И. Спонтанные и индуцированные химическими мутагенами хромосомные aberrации и генетический полиморфизм / В.И. Минина // Медицинская генетика. – 2011. – № 9. – С. 11-19.
 14. Villarini M., Gianfredi V., Levorato S., et al. Occupational exposure to cytostatic/antineoplastic drugs and cytogenetic damage measured using the lymphocyte cytokinesis-block micronucleus assay: A systematic review of the literature and meta-analysis. *Mutat Res.* 2016; 770(Pt A):35-45.
 15. Little J.L., Clevon C.D., Brown S.D. Identification of «known unknowns» utilizing accurate mass data and chemical abstracts service databases. *J. Am. Soc. Mass. Spectrom.* 2011; 22(2):348-59.
 16. Ильин, Л.А. Радиационная гигиена: учебник / Л.А. Ильин, И.П. Коренков, Б.Я. Наркевич. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2017. – 416 с.
 17. Ярмоненко, С.П. Радиобиология человека и животных. Учеб. пособие / С.П. Ярмоненко, А.А. Вайнсон. – М.: Высшая школа, 2004. – 549 с.
 18. Linet M.S., Kazzi Z., Paulson J.A. Pediatric Considerations Before, During, and After Radiological or Nuclear Emergencies. Technical Report. *Pediatrics.* 2018; 142(6):e20183001: 1-20.
 19. Глазко, Т.Т. Популяционно-генетические последствия экологических катастроф на примере Чернобыльской аварии / Т.Т. Глазко, Н.П. Архипов, В.И. Глазко. – М.: ФГОУВПОРГАУ–МСХА им. К.А. Тимирязева, 2008. – 556 с.
 20. Литтл, Д.Б. Немишеные эффекты ионизирующих излучений: выводы применительно к низкодозовым воздействиям / Д.Б. Литтл // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2007. – Т.47, № 3. – С. 262-272.
 21. Цыб, А.Ф. Радиация и патология: учебное пособие / А.Ф. Цыб [и др.]. – М.: Высшая школа, 2005. – 341 с.
 22. Бударков, В.А. Аномалии развития у потомков кур, подвергнутых хроническому воздействию ¹³¹I / В.А. Бударков // Сельскохозяйственная биология. – 2015. – Т. 50. № 2. – С. 225-236.
 23. Нефёдов, И.Ю. Наследственные последствия облучения обоих родителей (экспериментальное исследование на крысах линии Вистар): автореф. дисс. ... д-ра биол. наук / И.Ю. Нефёдов. – Обнинск, 1998. – 52 с.
 24. Asakawa J., Kamiguchi Y., Kamiya K., Nakamura N. Mutagenic effects of ionizing radiation on immature rat oocytes. *Radiat. Res.* 2014; 182(4):430-4.
 25. Бычкова, И.Б. Немутагенные немишеные радиационные эффекты. Наследуемое снижение жизнеспособности клеток, индуцированное лучевыми воздействиями в малых дозах / И.Б. Бычкова // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2013. – Т. 53, № 3. – С. 246-258.
 26. Воробцова, И.Е. Трансгенерационная передача радиационно-индуцированной нестабильности генома и предрасположенности к канцерогенезу / И.Е. Воробцова // Вопросы онкологии. – 2008. – Т. 54, № 4. – С. 490-493.
 27. Фоменко, Л.А. Геномная нестабильность, выявляемая микроядерным тестом, у потомства F1-поколения мышей, подвергнутых воздействию ионизирующей радиации / Л.А. Фоменко, М.Г. Ломаева, В.Г. Безлепкин, А.И. Газиев // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2006. – Т. 46. № 4. – С. 431-435.
 28. Аклеев, А.В. Адаптивный ответ у потомков первого поколения, родители которых подверглись хроническому облучению / А.В. Аклеев, А.В. Алещенко, В.Я. Готлиб, О.В. Кудряшова, Л.П. Семенова, А.М. Серебряный, О.И. Худякова, И.И. Пелевина // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2007. – Т.47, №5. – С. 550-557.
 29. Neel J.V., Schull W.J. The Children of Atomic Bomb Survivors: A Genetic Study. Washington, D.C.: National Academy Press; c 1991. 518 p.
 30. Ozasa K., Grant E.J., Kodama K. Japanese Legacy Cohorts: The Life Span Study Atomic Bomb Survivor Cohort and Survivors' Offspring. *J. Epidemiol.* 2018; 28(4):162-169.
 31. Nakamura N. Genetic effects of radiation in atomic-bomb survivors and their children: past, present and future. *J Radiat Res (Tokyo).* 2006; 47 (Suppl B): B67–B73.
 32. Окладникова, Н.Д. Цитогенетическая характеристика соматических клеток у первого поколения облученных людей / Н.Д. Окладникова, Л.Е. Бурак, Н.Н. Дудченко // Вопросы радиационной безопасности. – 2005. – № 1 (37). – С. 45-48.
 33. Русинова, Г.Г. Изучение нестабильности генома потомков в семьях работников ПО «Маяк»: минисателлит СЕВ1 / Г.Г. Русинова, И.В. Глазкова, Т.В. Азизова, С.В. Осовец, Н.С. Вязовская // Генетика. – 2014. – Т. 50, № 11. – С. 1354-1362.
 34. Тельнов, В.И. Распределение генетических маркеров у потомков облученных людей / В.И. Тельнов // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2008. – Т. 48, № 5. – С. 545-552.
 35. Fucic A., Aghajanyan A., Druzhinin V., Minina V., Neronova E. Follow-up studies on genome damage in children after Chernobyl nuclear power plant accident. *Arch Toxicol.* 2016 Sep; 90(9):2147-2159.
 36. Апсаликов, К.Н. Анализ и ретроспективная оценка результатов цитогенетических обследований населения Казахстана, подвергавшегося радиационному воздействию в результате испытаний ядерного оружия на Семипалатинском полигоне, и их потомков / К.Н. Апсаликов, Т.Ж. Мулдагалеев, Т.И. Белихина, З.А. Танатова, Л.Б. Кенжина // Медико-биологические проблемы жизнедеятельности. – 2013. – № 1 (9). – С. 42-49.
 37. Безлепкин, В.Г. Отдаленные и трансгенерационные молекулярно-генетические эффекты пролонгированного воздействия ионизирующей радиации у работников предприятия ядерной промышленности / В.Г. Безлепкин, Е.Н. Кириллова, М.Л. Захарова, О.С. Павлова, М.Г. Ломаева, Л.А. Фоменко, В.Н. Антипова, А.И. Газиев // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2011. – Т. 51, № 1. – С. 20-32.

38. Ильин, Л.А. Актуальная радиобиология: курс лекций / Л.А. Ильин, Л.М. Рождественский, А.Н. Котеров, Н.М. Борисов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2015. – 240 с.
39. Котеров, А.Н. Новые факты об отсутствии индукции нестабильности генома при малых дозах радиации с низкой ЛПЭ и соответствующие выводы о пороге эффекта в сообщении НКДАР-2012 / А.Н. Котеров // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2014. – Т.54, № 3. – С. 309-312.
40. Dubrova, Yu. E. Mutation induction in the mouse and human germline. Russian Journal of Genetics, 2016, Vol. 52, N 1, pp. 17-28.
41. Публикация 103 Международной Комиссии по радиационной защите (МКРЗ). Пер с англ. / Под общей ред. М.Ф. Киселёва и Н.К. Шандалы. – М.: Изд. ООО ПКФ «Алана», 2009. – 344 с.
42. NRC. Health risks from exposure to low levels of ionizing radiation (Committee to Assess Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation, BEIR VII – Phase 2). National Research Council, National Academy Press, Washington D.C., с 2006. 424 p.
43. UNSCEAR. Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2013 Report. Volume II. Scientific annex B: Effects of radiation exposure of children. New York, 2013. 284 p.
44. Committee on Medical Aspects of Radiation in the Environment (COMARE). Seventeenth Report: Further consideration of the incidence of cancers around the nuclear installations at Sellafield and Dounreay. Public Health England, 2016. 284 p.
45. Шалагинов, С.А. Особенности расселения потомков первого поколения облученного на реке Теча населения / С.А. Шалагинов, Л.Ю. Крестинина, Н.В. Старцев, А.В. Аклеев // Радиационная гигиена. – 2017. – Т. 10. № 2. – С. 6-15.
46. Grant E.J., Furukawa K., Sakata R., Sugiyama H., Sadakane A., Takahashi I., Utada M., Shimizu Y., Ozasa K. Risk of Death among Children of Atomic Bomb Survivors after 62 Years of Follow-up: A Cohort Study. Lancet Oncol 2015; 16(13):1316-23.
47. Tatsukawa Y., Cologne J.B., Hsu W.L., Yamada M., Ohishi W., Hida A., Furukawa K., Takahashi N., Nakamura N., Suyama A., Ozasa K., Akahoshi M., Fujiwara S., Shore R. Radiation risk of individual multifactorial diseases in offspring of the atomic-bomb survivors: a clinical health study. J. Radiol Prot. 2013;33(2):281-93.
48. Signorello L.B., Mulvihill J.J., Green D.M., Munro H.M., Stovall M., Weathers R.E., Mertens A.C., Whitton J.A., Robison L.L., Boice J.D.Jr. Congenital anomalies in the children of cancer survivors: a report from the childhood cancer survivor study. J. Clin. Oncol. 2012; 30(3): 239-245.
49. Winther J.F., Olsen J.H., Wu H., Shyr Y., Mulvihill J.J., Stovall M., Nielsen A., Schmiegelow M., Boice J.D.Jr. Genetic disease in the children of Danish survivors of childhood and adolescent cancer. J Clin Oncol. 2012 Jan 1; 30 (1):27-33.
50. Petrushkina N.P., Okatenko P.V., Kabirova N.R., Koshurnikova N.A. The frequency of Down's syndrome in the city of Ozyorsk located near the nuclear complex "Mayak". Proceedings of 10th International Congress of the International Radiation Protection Association (IRPA-10) "Harmonization of radiation, human life and the ecosystem"; 2000 May 14-19; Hiroshima, Japan: Hiroshima; 2000. P. 63.
51. Соснина, С.Ф. Показатели мертворождаемости и младенческой смертности в когорте жителей города Озёрска / С.Ф. Соснина, Е.П. Фомин, П.В. Окатенко, Н.А. Кошурникова // Вопросы радиационной безопасности. – 2014. – №2. – С. 68-76.
52. Балева, Л.С. Особенности задержки психического развития (ЗПР) детей, рожденных от облученных родителей / Л.С. Балева, А.Е. Сипягина, И.Ю. Юров, В.С. Сухоруков, Н.М. Карахан // Российский вестник перинатологии и педиатрии. – 2017. – Т. 62, № 4. – С. 223-224.
53. Дударева, Ю.А. Оценка состояния щитовидной железы у женщин, находившихся в зоне радиационного воздействия, и их потомков в двух поколениях / Ю.А. Дударева, В.А. Гурьева // Экология человека. – 2015. – № 10. – С. 9-13.
54. Pastukhova E.I., Shalaginov S.A., Akleyev A.V. Secondary sex ratio in population of radiocontaminated areas of Chelyabinsk oblast. J. Issues of Radiation Safety. 2011; 4: 28-37.
55. Евтушенко, Н.Н. Физическое развитие детей первого года жизни, родители которых подвергались хроническому радиационному воздействию / Н.Н. Евтушенко, Д.К. Волосников, А.В. Аклеев // Педиатрия. – 2010. – Т. 89. – № 6. – С. 52-57.
56. Соснина, С.Ф. Физическое развитие новорожденных детей работниц радиационно-опасного производства / С.Ф. Соснина, П.В. Окатенко // Профилактическая и клиническая медицина. – 2017. – №3 (64). – С. 14-20.
57. Little M.P., Goodhead D.T., Bridges B.A., Bouffler S.D. Evidence relevant to untargeted and transgenerational effects in the offspring of irradiated parents. Mutat Res. 2013 Jul-Sep; 753(1):50-67.
58. Ермалицкий, А.П. Развитие современной системы защиты гонад и плода в международных рекомендациях (МКРЗ) и отечественных нормах радиационной безопасности / А.П. Ермалицкий, А.М. Лягинская // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2012, Т. 57, №4. – С. 5-12.

Поступила: 11.03.2019 г.

Соснина Светлана Фаридовна – кандидат медицинских наук, научный сотрудник лаборатории радиационной эпидемиологии, Южно-Уральский институт биофизики ФМБА России. **Адрес для переписки:** 456780, Россия, Озёрск, Челябинская область, Озёрское шоссе, 19; E-mail: sosnina@subi.su

Сокольников Михаил Эдуардович – заведующий отделом эпидемиологии, доктор медицинских наук, Южно-Уральский институт биофизики ФМБА России, Озёрск, Россия

Для цитирования: Соснина С.Ф., Сокольников М.Э. Наследуемые эффекты у потомков, связанные с вредным воздействием на родителей (Обзор литературы) // Радиационная гигиена. – 2019. – Т. 12, № 3 – С. 84-95. DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-3-84-95

Heritable effects in offspring associated with harmful exposure to parents (Literature review)

Svetlana F. Sosnina, Mikhail E. Sokolnikov

Southern Urals Biophysics Institute of the Federal Medical and Biological Agency of Russia, Ozyorsk, Russia

A review of literature data regarding the heritable effects in offspring due to parents' contact with mutagenic risk factors is presented. Studies on various factors of adverse effects on the hereditary apparatus, including chemical, infectious, physical and biological, are considered. The influence of smoking and parents' age on the occurrence of de novo mutations is shown. Particular attention is paid to the review of publications on the role of the radiation factor in the genesis of hereditary disorders in offspring. Development stages of radiation genetics, the evolution of conception about radiation harm are described. The results of experimental, cytogenetic, molecular genetic, epidemiological studies analyzing the contribution of parental exposure to inherited pathology in progeny are presented. Special attention is paid to the "untargeted" effects of radiation and studies which prove the possibility of transgenerative transmission of genome instability are presented. The special contribution of studies on the cohort of atomic bomb victims offspring in Hiroshima and Nagasaki, which is considered as the main scientific platform for radiation risk assessment, is noted. There are articles about the offspring of persons who underwent therapeutic exposure, who had professional contact with ionizing radiation, who were exposed to radiation as a result of the Chernobyl accident, nuclear weapons tests at the Semipalatinsk test site, chronic radiation in the radioactively contaminated territory of the Techa river, areas with naturally increased radioactivity. As a result, it was noted that, despite numerous confirmations of radiation-induced effects in offspring obtained within experimental and molecular genetic studies, the results of epidemiological studies remain controversial. Possible reasons for these discrepancies are considered. An idea of views evolution regarding heritable effects in the international system of radiation safety is given. A new approach of the International Commission on Radiological Protection to heritable effects is described; the dynamics of tissue weighting factors for gonads in the assessment of effective radiation dose is shown. Methods for evaluating heritable effects are presented: the direct method and the doubling dose method. Attention is focused on the uncertainties that remain in the modern assessment of radiation genetic damage. The necessity of further study of radiation-induced heritable effects is shown. The perspective directions of studying the heritable effects are considered. The possibility of the analysis of heritable effects is described using the example of a cohort of the Mayak Production Association workers' offspring — the country's first nuclear industry enterprise.

Key words: heritable effects, mutation, radiation, offspring of exposed persons, preconceptional parental exposure, PA "Mayak"

References

1. Big medical encyclopedia: [in 30 issues / Academy of medical sciences of the USSR]. Chief editor B.V. Petrovskiy. 3d ed. Moscow, Soviet encyclopedia, 1981, Vol. 16, 512 p. (in Russian).
2. Dyomina E.A. Radiation cytogenetics. Russian-English dictionary [Reference book]. Kiev, Zdorovya = Health, 2009, 368 p. (in Russian).
3. Brand o Pde T., Gomes-Filho I.S., Cruz S.S., et al. Can periodontal infection induce genotoxic effects? Acta Odontol Scand. 2015; 73(3): 219-25.
4. Poplawski T., Chojnacki C., Czubatka A., et al. Helicobacter pylori infection and antioxidants can modulate the genotoxic effects of heterocyclic amines in gastric mucosa cells. Mol Biol Rep. 2013; 40(8): 5205-12.
5. Bekish V.Ya. Bekish O.-Ya.L. Mechanisms of the genotoxic effects in the somatic and generative cells of the host with helminths. Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta = Newsletter of the Vitebsk state medical university. 2005; 4(4): 73-79. (in Russian).
6. Morkunas V., Gabryte E., Vengris M., et al. DNA Damage in Bone Marrow Cells Induced by Femtosecond and Nanosecond Ultraviolet Laser Pulses. Photomed Laser Surg. 2015; 33(12):585-91.
7. Zhang A., Jia A., Park M., et al. Genotoxicity assay and potential byproduct identification during different UV-based water treatment processes. Chemosphere. 2018; 217:176-182.
8. Linschooten J.O., Verhofstad N., Gutzkow K., et al. Paternal lifestyle as a potential source of germline mutations transmitted to offspring. FASEB J. 2013; 27(7):2873-9.
9. Beal M.A., Yauk C.L., Marchetti F. From sperm to offspring: Assessing the heritable genetic consequences of paternal smoking and potential public health impacts. Mutat Res. 2017 Jul; 773:26-50.
10. Kong A., Frigge M.L., Masson G., et al. Rate of de novo mutations and the importance of father's age to disease risk. Nature. 2012 Aug 23; 488(7412):471-5.
11. Wong W.S., Solomon B.D., Bodian D.L., et al. New observations on maternal age effect on germline de novo mutations. Nat Commun. 2016 Jan 19; 7: 10486.
12. Abilev S.K. Chemical mutagens and genetic toxicology. Priroda = Nature. 2012; 10 (1166): 39-46 (in Russian).
13. Minina V.I. Spontaneous and chemical mutagen-induced chromosome aberrations and genetic polymorphism. Meditsinskaya genetika = Medical genetics. 2011; 9: 11-9 (in Russian).
14. Villarini M., Gianfredi V., Levorato S., et al. Occupational exposure to cytostatic/antineoplastic drugs and cytogenetic

Svetlana F. Sosnina

Southern Urals Biophysics Institute of the Federal Medical and Biological Agency of Russia.

Address for correspondence: Ozerskoe shosse, 19, Ozersk, 456780, Chelyabinsk oblast, Russia; E-mail: sosnina@subi.su

- damage measured using the lymphocyte cytokinesis-block micronucleus assay: A systematic review of the literature and meta-analysis. *Mutat Res.* 2016; 770 (Pt A):35-45.
15. Little J.L., Cleven C.D., Brown S.D. Identification of «known unknowns» utilizing accurate mass data and chemical abstracts service databases. *J. Am. Soc. Mass. Spectrom.* 2011; 22(2):348-59.
 16. Ilyin L.A., Korenkov I.P., Narkevich B.Ya. Radiation hygiene: a handbook. 5th ed. Reworked and enhanced. Moscow, GEOTAR-Media. 2017, 416 p. (in Russian).
 17. Yarmonenko S.P., Vaynson A.A. Radiobiology of the human and animals. A handbook. Moscow: Vysshaya shkola = High school. 2004, 549 p. (in Russian).
 18. Linet M.S., Kazzi Z., Paulson J.A. Pediatric Considerations Before, During, and After Radiological or Nuclear Emergencies. Technical Report. *Pediatrics.* 2018; 142(6):e20183001: 1-20.
 19. Glazko T.T., Arkhipov N.P., Glazko V.I. Population-genetic consequences of the ecological disasters on the examples of the Chernobyl NPP accident. Moscow, Moskovskaya sel'skokhozyaystvennaya akademiya = Moscow Agricultural Academy; 2008, 556 p. (in Russian).
 20. Littl D.B. Non-target effects of the ionizing exposure: conclusions related to the low-dose effects. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya = Radiation biology. Radioecology.* 2007; 47(3): 262-272 (in Russian).
 21. Tsyb A.F., Budagov R.S., Zamulaeva I.A. Radiation and pathology: Study guide. Moscow, High School; 2005, 341 p. (in Russian).
 22. Budarkov V.A. Anomalies of the development of the progeny of the chicken chronically exposed to the ¹³¹I. *Selskokhozyaystvennaya biologiya = Agricultural biology.* 2015; 50(2): 225-236 (in Russian).
 23. Nefyodov I.Yu. Hereditary consequences of the exposure of both parents (experimental study on the Vistar line rats): abstract of PhD thesis. Obninsk, 1998, 52 p. (in Russian).
 24. Asakawa J., Kamiguchi Y., Kamiya K., Nakamura N. Mutagenic effects of ionizing radiation on immature rat oocytes. *Radiat. Res.* 2014; 182(4):430-4.
 25. Bychkovskaya I.B. Non-mutation non-target radiation effects. Inherited reduction of the viability of the cells induced by the low-dose radiation exposure. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya = Radiation biology. Radioecology.* 2013; 53(3): 246-58 (in Russian).
 26. Vorobtsova I.E. Transgenerational transfer of the radiation-induced of the genome instability and cancerogenic aptitude. *Voprosy onkologii.* 2008; 54 (4): 490-93 (in Russian).
 27. Fomenko L.A., Lomaeva M.G., Bezlepkin V.G., Gaziev A.I. Genome instability determined by the microcell test for the progeny of the F1-generation of mice exposed to the ionizing exposure. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya = Radiation biology. Radioecology.* 2006; 46(4): 431-35 (in Russian).
 28. Akleev A.B., Aleshchenko A.V., Gotlib V.Ya., Kudryashova O.V., Semenova L.P., Serebryanny A.M., Khudyakova O.I., Pelevina I.I. Adaptive response of the first generation progeny with parents exposed to the chronic irradiation. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya = Radiation biology. Radioecology.* 2007; 47(5): 550-7 (in Russian).
 29. Neel J.V., Schull W.J. The Children of Atomic Bomb Survivors: A Genetic Study. Washington, D.C.: National Academy Press; c 1991. 518 p.
 30. Ozasa K., Grant E.J., Kodama K. Japanese Legacy Cohorts: The Life Span Study Atomic Bomb Survivor Cohort and Survivors' Offspring. *J. Epidemiol.* 2018; 28(4):162-169.
 31. Nakamura N. Genetic effects of radiation in atomic-bomb survivors and their children: past, present and future. *J Radiat Res (Tokyo).* 2006; 47 (Suppl B): B67-B73.
 32. Okladnikova N.D., Burak L.E., Dudchenko N.N. Cytogenetic characteristic of the somatic cells of the first generation of the exposed people. *Voprosy radiatsionnoy bezopasnosti = Issues of the radiation safety.* 2005; 1(37): 45-48 (in Russian).
 33. Rusinova G.G., Glazkova I.V., Azizova T.V., Osovets S.V., Vyazovskaya N.S. Survey of the genome instability of the progeny in the families of the workers of the PO "Mayak": minisatellite CEB1. *Genetika.* 2014; 50 (11): 1354-62 (in Russian).
 34. Telnov V.I. Distribution of the genetic markers of the progeny of the exposed people. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya = Radiation biology. Radioecology.* 2008; 48 (5): 545-52 (in Russian).
 35. Fucic A., Aghajanyan A., Druzhinin V., Minina V., Neronova E. Follow-up studies on genome damage in children after Chernobyl nuclear power plant accident. *Arch Toxicol.* 2016 Sep; 90(9):2147-59.
 36. Apsalikov K.N., Muldagaliev T.G., Belikhina T.I., Tanatova Z.A., Kenzhina L.B. Analysis and retrospective assessment of the results of the cytogenetic surveys of the public in Kazakhstan exposed by radiation due to the nuclear weapon tests on the Semipalatinsk range and their progeny. *Mediko-biologicheskie problemy zhiznedeyatel'nosti = Medico-biological problems of the vital activities.* 2013; 1 (9): 42-49 (in Russian)., 2013, Vol. 1(9), pp. 42-49.
 37. Bezlepkin V.G., Kirillova E.N., Zakharova M.L., Pavlova O.S., Lomaeva M.G., Fomenko L.A., Antipova V.N., Gaziev A.I. Distant and transgenerational molecular-genetic effects of the prolong exposure by the ionizing radiation of the workers of the nuclear facilities. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya = Radiation biology. Radioecology.* 2011; 51(1): 20-32 (in Russian).
 38. Ilyin L.A., Rozhdestvenskiy L.M., Koterov A.N., Borisov N.M. Actual radiobiology: a course of lectures. Moscow, Publisher house MEI. 2015, 240 p. (in Russian).
 39. Koterov A.N. Novel facts of the absence of the induction of the genome instability from the low doses of low LET and the corresponding conclusions on the threshold effect in the UNSCEAR 2012 report. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya = Radiation biology. Radioecology.* 2014; 54(3): 309-12 (in Russian).
 40. Dubrova Yu. E. Mutation induction in the mouse and human germline. *Russian Journal of Genetics.* 2016, Vol. 52, N 1, pp. 17-28.
 41. ICRP Publication 103. Ed. By M.F. Kiselev and N.K. Shandala. Moscow, OOO PKF "Alana", 2009, 344 p. (in Russian).
 42. NRC. Health risks from exposure to low levels of ionizing radiation (Committee to Assess Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation, BEIR VII – Phase 2). National Research Council, National Academy Press, Washington D.C., c 2006. 424 p.
 43. UNSCEAR. Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2013 Report. Volume II. Scientific annex B: Effects of radiation exposure of children. New York, 2013. 284 p.
 44. Committee on Medical Aspects of Radiation in the Environment (COMARE). Seventeenth Report: Further consideration of the incidence of cancers around the nuclear installations at Sellafield and Dounreay. Public Health England, 2016. 284 p.
 45. Shalaginov S.A., Krestinina L.Yu., Startsev N.V., Akleyev A.V. Features of the resettlement of the progeny of the first generation of the public exposed on Techa river. *Radiatsionnaya gygiena = Radiation hygiene.* 2017; 10(2): 6–15. (In Russian).
 46. Grant E.J., Furukawa K., Sakata R., Sugiyama H., Sadakane A., Takahashi I., Utada M., Shimizu Y., Ozasa K. Risk of Death among Children of Atomic Bomb Survivors after 62 Years of Follow-up: A Cohort Study. *Lancet Oncol* 2015; 16(13):1316-23.
 47. Tatsukawa Y., Cologne J.B., Hsu W.L., Yamada M., Ohishi W., Hida A., Furukawa K., Takahashi N., Nakamura N., Suyama A., Ozasa K., Akahoshi M., Fujiwara S., Shore R. Radiation risk of individual multifactorial diseases in off-

- spring of the atomic-bomb survivors: a clinical health study. *J. Radiol Prot.* 2013; 33(2):281-93.
48. Signorello L.B., Mulvihill J.J., Green D.M., Munro H.M., Stovall M., Weathers R.E., Mertens A.C., Whitton J.A., Robison L.L., Boice J.D.Jr. Congenital anomalies in the children of cancer survivors: a report from the childhood cancer survivor study. *J. Clin. Oncol.* 2012; 30(3): 239–245.
 49. Winther J.F., Olsen J.H., Wu H., Shyr Y., Mulvihill J.J., Stovall M., Nielsen A., Schmiegelow M., Boice J.D.Jr. Genetic disease in the children of Danish survivors of childhood and adolescent cancer. *J Clin Oncol.* 2012 Jan 1; 30(1):27-33.
 50. Petrushkina N.P., Okatenko P.V., Kabirova N.R., Koshurnikova N.A. The frequency of Down's syndrome in the city of Ozyorsk located near the nuclear complex "Mayak". Proceedings of 10th International Congress of the International Radiation Protection Association (IRPA-10) «Harmonization of radiation, human life and the ecosystem»; 2000 May 14-19; Hiroshima, Japan: Hiroshima; 2000. P. 63.
 51. Sosnina S.F., Fomin E.P., Okatenko P.V., Koshurnikova N.A. Indexes of mortinatality and infant mortality in the cohort of the inhabitants of the Ozersk city. *Voprosy radiatsionnoy bezopasnosti = Issues of the radiation safety.* 2014; 2: 68-76 (in Russian).
 52. Baleva L.S., Sipyagina A.E., Yurov I.Yu., Sukhorukov V.S., Karakhan N.M. Features of the retardation of the children of the exposed parents. *Rossiyskiy vestnik perinatologii i pediatrii = Russians newsletter of perinatology and pediatry.* 2017; 62 (4): 223-224 (in Russian).
 53. Dudareva Yu.A., Gureva V.A. Assessment of the thyroid condition of the women from the radiation zone and their progeny in two generations. *Ekologiya cheloveka = Ecology of the human.* 2015; 10: 9-13 (in Russian).
 54. Pastukhova E.I., Shalaginov S.A., Akleyev A.V. Secondary sex ratio in population of radiocontaminated areas of Chelyabinsk oblast. *J. Issues of Radiation Safety.* 2011; 4: 28-37.
 55. Evtushenko N.N., Volosnikov D.K., Akleev A.V. Physical development of the children of the first year of life, with the parents exposed to the chronic radiation exposure. *Pediatrics = Pediatry.* 2010; 89(6): 52-57 (in Russian).
 56. Sosnina S.F., Okatenko P.V. Physical development of the newborn children of the female workers of the radiation-hazardous facilities. *Profilakticheskaya i klinicheskaya meditsina = Prophylactic and clinical medicine.* 2017; 3(64): 14–20 (in Russian).
 57. Little M.P., Goodhead D.T., Bridges B.A., Bouffler S.D. Evidence relevant to untargeted and transgenerational effects in the offspring of irradiated parents. *Mutat Res.* 2013 Jul-Sep; 753(1):50-67.
 58. Ermalitskiy A.P., Lyaginskaya A.M. Development of the modern system of the protection of the gonads and fetus in the international recommendations (ICRP) and Russian norms of the radiation safety. *Meditinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost = Medical radiology and radiation safety.* 2012; 57(4): 5-12.

Received: March 11, 2019

For correspondence: Svetlana F. Sosnina – Candidate of Medical Sciences, researcher of the radiation epidemiology laboratory, Southern Urals Biophysics Institute of the Federal Medical and Biological Agency of Russia (Ozerskoe shosse, 19, Ozersk, 456780, Chelyabinsk oblast, Russia; E-mail: sosnina@subi.su)

Mikhail E. Sokolnikov – Head of the epidemiology department, Doctor of Medical Sciences, Southern Urals Biophysics Institute of the Federal Medical and Biological Agency of Russia of Russia, Ozersk, Russia

For citation: Sosnina S.F., Sokolnikov M.E. Heritable effects in offspring associated with harmful exposure to parents (Literature review). Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene, 2019, Vol. 12, No. 3, pp. 84-95. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-3-84-95

К вопросу о координации действий сил и средств организаций и учреждений ФМБА России и Роспотребнадзора в чрезвычайных ситуациях радиационного характера

А.С. Самойлов¹, И.К. Романович², М.И. Грачев¹, Ю.А. Саленко¹, А.Н. Барковский², В.С. Репин², Л.С. Богданова¹

¹ Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна Федерального медико-биологического агентства России, Москва, Россия

² Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

В статье определены направления совместной деятельности и механизмы взаимодействия Роспотребнадзора и ФМБА России, их территориальных органов и учреждений в случае радиационных аварий. Большой практический опыт, накопленный специалистами ФМБА России и Роспотребнадзора, явился основанием для разработки проекта Концепции «Организация проведения радиационно-гигиенических мероприятий в чрезвычайных ситуациях радиационного характера и координация действий сил и средств организаций и учреждений ФМБА России и Роспотребнадзора» (2018 г.). В статье рассмотрены основные положения проекта документа, который после обсуждения и доработки, чему, как надеются авторы, будет способствовать данная публикация, может быть представлен на утверждение. В современной инфраструктуре Роспотребнадзора и ФМБА России имеются все необходимые элементы и предпосылки для скоординированной работы групп экспертной поддержки, использования в чрезвычайных ситуациях мобильных специализированных бригад быстрого реагирования радиационно-гигиенического профиля. Рассмотрены возможные типы радиационных аварий, которые могут потребовать совместных усилий органов и учреждений Роспотребнадзора и ФМБА России. В начальный период радиационной аварии в условиях больших неопределенностей, связанных с оценкой радиационной обстановки и дозовых нагрузок на персонал и население, необходимо обеспечить оперативную подготовку согласованных предложений для принятия решений по комплексу санитарно-гигиенических, противоэпидемических и защитных мероприятий. Большое внимание уделено взаимному оповещению и информационному взаимодействию. Важным элементом обеспечения противоаварийной готовности, отработки алгоритмов взаимодействия органов управления и практических навыков персонала учреждений Роспотребнадзора и ФМБА России является совместное планирование, организация и проведение тренировок и учений.

Ключевые слова: ФМБА России, Роспотребнадзор, радиационная авария, аварийное реагирование, радиационная безопасность, радионуклидные источники.

Введение

Обеспечение санитарно-эпидемиологического благополучия и радиационной защиты населения является ключевым условием успешного функционирования государственной системы предупреждения и ликвидации последствий радиационных аварий (РА).

В 2018 г. ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна и ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева был разработан проект Концепции «Организация проведения радиационно-гигиенических мероприятий в чрезвычайных ситуациях радиационного характера и координация действий сил и средств организаций и учреждений ФМБА России и Роспотребнадзора».

Имеющийся опыт свидетельствует о том, что совместные действия ФМБА России и Роспотребнадзора необходимы не только в случае масштабных РА, но и при других чрезвычайных ситуациях (ЧС) радиационного характера, которые могут привести к аварийному облучению людей и радиоактивному загрязнению окружающей среды.

Цель исследования – рассмотрение и обсуждение базовых принципов и механизмов эффективной координации действий организаций и учреждений ФМБА России и Роспотребнадзора в случае ЧС радиационного характера, которые легли в основу проекта Концепции.

Барковский Анатолий Николаевич

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

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

Общие положения

Исторически сложившаяся практика разграничения функций Роспотребнадзора и ФМБА России была обусловлена спецификой обслуживаемых радиационных объектов (РО) и выделенных закрытых административно-территориальных образований. На этапе планирования и обеспечения противоаварийной готовности особое значение имеет конкретизация и ясное представление о путях реализации научно обоснованных принципов общей стратегии радиационной защиты персонала и населения. Опыт имевших место РА отчетливо свидетельствует, что для сохранения и правильной интерпретации больших массивов результатов радиационно-гигиенического мониторинга необходимо уделять повышенное внимание унификации аппаратного и методического обеспечения дозиметрических измерений и расчетов.

Направления взаимодействия Роспотребнадзора и ФМБА России

Основными направлениями взаимодействия являются:

- совместная разработка учреждениями науки Роспотребнадзора и ФМБА России научно обоснованных требований по ограничению аварийного облучения персонала и населения, в том числе с целью минимизации риска отдаленных последствий для здоровья с учетом международных рекомендаций и отечественного опыта;
- разработка единых подходов и требований к оценке радиационной обстановки и доз облучения персонала и населения;
- организация и обеспечение функционирования на постоянной основе групп экспертной поддержки на базе учреждений Роспотребнадзора и ФМБА России по вопросам радиационной безопасности;
- формирование эффективной системы защищенного обмена оперативной информацией, разработка и согласование регламента такого обмена в условиях повседневной деятельности и при РА, выбор технических средств обеспечения информационного взаимодействия. Объем информации должен быть достаточным для выработки согласованных оценок и проектов решений на всех этапах ликвидации последствий РА. Необходимо предусматривать организацию и технические средства для получения и обмена оперативной информацией с другими участниками противоаварийных мероприятий: МЧС России, Госкорпорацией «Росатом», Росгидрометом в соответствии с действующими документами;
- создание при необходимости объединенной группы сил и средств Роспотребнадзора и ФМБА России для проведения радиационно-гигиенического мониторинга в населенных пунктах и на территориях, дозиметрического обследования населения, организации санитарно-гигиенических и противоэпидемических мероприятий на транспорте и в пунктах пропуска путем формирования на базе организаций и учреждений специализированных бригад быстрого реагирования (СББР) радиационно-гигиенического профиля;
- проведение совместных тренировок и учений на основе возможных сценариев РА, участие в учениях, организуемых МЧС России, Госкорпорацией «Росатом» и другими ведомствами, для поддержания

постоянной противоаварийной готовности и отработки взаимодействия;

- проведение практических занятий и семинаров по обучению персонала органов и учреждений Роспотребнадзора и ФМБА России навыкам работы в условиях РА;
- отработка и совершенствование процедур информирования населения путем предоставления достоверной, актуальной информации о фактическом состоянии радиационной обстановки, возможных последствиях для здоровья, рекомендаций по правильному поведению и применению защитных мер. Действия ФМБА России и Роспотребнадзора по предоставлению населению информации должны быть регламентированы и скоординированы. Недопустимо предоставление населению противоречивой, взаимоисключающей информации.

Органы и учреждения ФМБА России и Роспотребнадзора

В соответствии с законодательством и действующими нормативно-правовыми актами Роспотребнадзор и ФМБА России являются органами государственного регулирования безопасности при использовании атомной энергии [1].

Органы и учреждения Роспотребнадзора, привлекаемые для решения задач аварийного реагирования, включают Центры гигиены и эпидемиологии (ЦГиЭ), межрегиональные центры Роспотребнадзора по вопросам радиационной безопасности населения (МРЦ РБ) [2] и функционирующие при ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева информационно-аналитический центр Роспотребнадзора по вопросам радиационной безопасности (ИАЦ) и головной научно-методический центр Роспотребнадзора по вопросам радиационной безопасности населения (ГНМЦ РБ).

Одной из основных функций МРЦ РБ является оказание консультативной, практической и методической помощи органам и учреждениям Роспотребнадзора территорий прикрепленных субъектов РФ при РА и других ЧС. Образованы 8 МРЦ РБ по федеральным округам:

- МРЦ РБ в Северо-Западном федеральном округе (СЗМРЦ РБ) на базе ЦГиЭ в г. Санкт-Петербурге, оказывающий помощь органам и учреждениям Роспотребнадзора субъектов РФ Северо-Западного федерального округа;
- МРЦ РБ в Южном федеральном округе (ЮМРЦ РБ) на базе ЦГиЭ в Ростовской области, оказывающий помощь органам и учреждениям Роспотребнадзора субъектов РФ Южного федерального округа, а также Республики Крым и г. Севастополя;
- МРЦ РБ в Северо-Кавказском федеральном округе (СКМРЦ РБ) на базе ЦГиЭ в Ставропольском крае, оказывающий помощь органам и учреждениям Роспотребнадзора субъектов РФ Северо-Кавказского федерального округа;
- МРЦ РБ в Центральном федеральном округе (ЦМРЦ РБ) на базе ЦГиЭ в городе Москве, оказывающий помощь органам и учреждениям Роспотребнадзора субъектов РФ Центрального федерального округа;
- МРЦ РБ в Уральском федеральном округе (УМРЦ РБ) на базе ЦГиЭ в Челябинской области, оказывающий помощь органам и учреждениям Роспотребнадзора субъектов РФ Уральского федерального округа;

– МРЦ РБ в Приволжском федеральном округе (ПМРЦ РБ) на базе ЦГиЭ в Нижегородской области, оказывающий помощь органам и учреждениям Роспотребнадзора субъектов РФ Приволжского федерального округа;

– МРЦ РБ в Сибирском федеральном округе (СМРЦ РБ) на базе ЦГиЭ в Красноярском крае, оказывающий помощь органам и учреждениям Роспотребнадзора субъектов РФ Сибирского федерального округа;

– МРЦ РБ в Дальневосточном федеральном округе (ДВМРЦ РБ) на базе ЦГиЭ в Приморском крае, оказывающий помощь органам и учреждениям Роспотребнадзора субъектов РФ Дальневосточного федерального округа.

Все МРЦ РБ аккредитованы на проведение основных видов радиационного контроля, имеют необходимое аппаратное обеспечение, включая передвижные радиологические лаборатории, полевые полупроводниковые спектрометры и переносные средства оперативной идентификации радионуклидов.

Одной из основных функций ИАЦ является сбор и обобщение информации о радиационной обстановке, включая картографическое оформление, проведение оперативных расчетов рисков отдаленных последствий, предоставление оперативных сводок группам экспертной поддержки для анализа информации и принятия решений.

В целом, существующая инфраструктура Роспотребнадзора позволяет в сочетании с надзорными функциями проводить основные виды радиационного контроля. При этом управления Роспотребнадзора и ЦГиЭ осуществляют тесное взаимодействие с МРЦ РБ и ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева, ИАЦ и ГНМЦ РБ.

Для обеспечения противоаварийной готовности, аварийного реагирования и эффективного взаимодействия Роспотребнадзора и ФМБА России предусматривается создание:

– на функциональной основе в составе МРЦ РБ мобильных СББР радиационно-гигиенического профиля;

– постоянно действующей группы экспертной поддержки, включающей ведущих специалистов ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева.

Существующая инфраструктура ФМБА России адаптирована к решению задач противоаварийного планирования и аварийного реагирования в случае РА на обслуживаемых РО, предприятиях и организациях, использующих источники ионизирующих излучений. Особенностью данной структуры является максимальное приближение территориальных органов (ТО) и ЦГиЭ ФМБА России к обслуживаемому объекту (предприятию).

На основе опыта многолетней практики надзор и контроль радиационной безопасности и радиационно-гигиенический мониторинг осуществляются с учетом конкретных путей и факторов радиационного воздействия на персонал РО и население. Отличительной особенностью инфраструктуры ФМБА России является наличие в составе ЦГиЭ промышленно-санитарных лабораторий, предназначенных для контроля вредных факторов производственной среды (ионизирующие излучения, шум, вибрация, химические соединения и др.) и лабораторий дозиметрии внутреннего облучения.

Принципиальным решением в развитии системы аварийного реагирования явилось создание на базе ведущих научно-исследовательских организаций ФМБА России ре-

гиональных аварийных медико-дозиметрических центров (РАМДЦ), которые осуществляют научно-методическую и экспертно-аналитическую поддержку ТО и ЦГиЭ и расположены в соответствующих федеральных округах:

– аварийный медицинский радиационно-дозиметрический центр (головной) на базе ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна (Центральный, Южный, Приволжский и Северо-Кавказский федеральные округа);

– Южно-Уральский региональный аварийный медико-дозиметрический центр на базе ФГУП «Южно-Уральский институт биофизики» (Дальневосточный, Сибирский и Уральский федеральные округа);

– Северо-Западный региональный аварийный медико-дозиметрический центр на базе ФГУП «Научно-исследовательский институт промышленной и морской медицины» (Северо-западный регион России).

На базе РАМДЦ на функциональной основе сформированы СББР, которые выполняют функцию поддержки ТО и ЦГиЭ ФМБА России при решении вопросов оценки радиационной обстановки и радиационного мониторинга.

В целом, современная инфраструктура органов и учреждений Роспотребнадзора и ФМБА России содержит элементы, позволяющие эффективно осуществлять противоаварийное планирование, научно-методическую поддержку и проведение практических мероприятий силами ЦГиЭ и СББР в случае РА.

Наличие на постоянной основе групп экспертной поддержки позволит осуществлять отработку различных алгоритмов их функционирования в ходе деловых игр и учений, максимально приближенных к реально возможным РА в условиях дефицита исходной информации и времени.

Не менее важно формирование и поддержание в постоянной готовности СББР. Они должны оснащаться современными дозиметрическими и спектрометрическими приборами, производительными аспирационными установками, средствами связи и необходимым транспортом.

В случае масштабной РА может потребоваться проведение радиационно-гигиенического мониторинга на удалении свыше 100 км от источника аварийного выброса и привлечение для решения этой задачи нескольких СББР, выделяемых и направляемых в район РА из соседних субъектов РФ.

Взаимодействие при различных типах радиационных аварий

Характер взаимодействия Роспотребнадзора и ФМБА России в значительной степени определяется типом РА, от которого зависят масштабы и уровни радиоактивного загрязнения территории и дозы облучения персонала РО и населения.

В таблице представлены возможные типы РА, для ликвидации последствий которых может потребоваться совместное участие органов и учреждений Роспотребнадзора и ФМБА России.

К числу современных радиологических угроз относятся и возможность применения радиоактивных материалов в террористических целях. Неопределенности, связанные с местом и временем радиологической атаки, затрудняют построение общей системы планирования защитных, санитарно-гигиенических и противозидемических мероприятий. Вопросы обеспечения готовности и адекватного

Таблица
[Table]

Перечень ситуаций радиационного характера, требующих совместных действий Роспотребнадзора и ФМБА России

List of the accidents requiring joint actions of Rosпотребнадzor and FMBA]

Тип РА [Type or radiation accident (RA)]	Последствия и пути облучения [Consequences and ways of exposure]	Совместная деятельность [Joint actions]
РА на РО I категории потенциальной радиационной опасности в соответствии с ОСПОРБ-99/2010 [RA on the radiation facility (RF) of the I category of poten- tial radiation hazard according to OSPORB 99/2010]	Выброс радиоактивных веществ в окружающую среду в количестве, требующем проведения защитных и ограничительных мероприятий на прилегающей территории. Возможно облучение персонала РО в дозах на уровне детерминированных эффектов [Discharge of the radioactive substances into the environment in amount requiring protective and restrictive actions on the surrounding area. Possible exposure of the staff of RF in doses corresponding to deterministic effects]	Участие в межведомственном взаимодействии, включая оповещение и обмен информацией. Оценка радиационной обстановки. Согласование результатов оценок. Подготовка согласованных предложений по проведению защитных мер, санитарно-гигиенических и противозидемиических мероприятий, включая йодную профилактику для населения. Согласование совместной программы проведения радиационно-гигиенического мониторинга населения и территорий. Направление СББР Роспотребнадзора и ФМБА России для совместной работы, включая дозиметрическое обследование населения. Формирование объединенной группировки СББР. Обмен результатами измерений по установленным формам, позволяющим проводить их корректную интерпретацию. Проведение совместных оценок дозовых нагрузок на население и подготовка заключения о необходимости введения ограничительных мер на загрязненной территории и ее дальнейшей реабилитации [Participation in inter-agency collaboration, including warning and information exchange. Assessment of the radiation situation. Coordination of the results of assessments. Development of joint proposals on the execution of the protective actions, sanitary-hygienic and antiepidemic actions, including the iodine prophylaxis for the public. Coordination of the joint program of the joint radiation-hygienic monitoring of the public and territories. Assignment of the SBBR of Rosпотребнадzor and FMBA of Russia for the joint actions, including the dosimetric survey of the public. Formation of the joint SBBR group. Exchange of the results of the measurements performed using established protocols, allowing correctly inter- preting them. Conduction of the joint assessment of the doses to the public and preparation of conclusion on implementing the restrictive measures on the contaminated territory with the subsequent remediation.]
РА на РО II–IV категории потенциальной радиационной опасности [RA on RF II–IV category of potential radiation hazard]	Выход радиоактивных веществ в помещение и на территорию предприятия. Возможно облучение персонала РО в дозах, превышающих значения основных пределов доз и требующих медицинского вмешательства [Discharge of the radioactive substances in the premises and territory of the facility. Possible exposure of the staff of RF in doses exceed- ing the dose limits and requiring medical intervention]	Оповещение и обмен информацией, включая результаты дозиметрического контроля пострадавших по данным предприятия. Согласование решений о дополнительном дозиметрическом и лабораторно-клиническом обследовании пострадавших в специализированной медицинской организации. При необходимости совместное проведение санитарно-эпидемиологического расследования с включением в состав комиссии профильных специалистов из подведомственных учреждений [Alerting and exchange of information, including the results of dosimetric control of the injured based on the facility data. Coordination of the decisions on the additional dosimetric and clinical-laboratory examination of the injured in dedicated medical facility. If needed – joint conduction of the sanitary-epidemiological investigation with the inclusion of the profile spe- cialists from the subordinate organizations]

Тип РА [Type or radiation accident (RA)]	Последствия и пути облучения [Consequences and ways of exposure]	Совместная деятельность [Joint actions]
РА с закрытыми РНИ [RA with sealed radionuclide sources]	Возможно внешнее общее и локальное облучение в дозах, превышающих пороги детерминированных эффектов [External total and local exposure in doses ex- ceeding the threshold for deterministic effects]	Оповещение и обмен информацией об условиях облучения и в дальнейшем – результатами санитарно- эпидемиологического расследования для планирования и проведения диагностики и, в случае необходимости, специализированного лечения. Проведение уточненных оценок доз облучения пострадавших, в том числе по результатам фантомных дозиметрических исследований [Alerting and exchange of information on the exposure conditions and results of the sanitary-epidemiologic investigation for the planning and execution of diagnostics and, if needed, dedicated care. Performance of the accurate assessment of the doses to the injured persons including the results of phantom dosimetry studies.]
Обнаружение бесхозного закрытого РНИ [Discovery of the orphan source]	Возможно внешнее общее и локальное облучение в дозах, превышающих пороги детерминированных эффектов [External total and local exposure in doses ex- ceeding the threshold for deterministic effects]	Оповещение об обнаружении закрытого РНИ. Выявление лиц, имевших контакт с источником. Согласование решений о дополнительном дозиметрическом и лабораторно-клиническом обследовании пострадавших в специализированной медицинской организации. [Alert on the discovery of the sealed source. Investigation of the people contacted with the source. Coordination of the decisions on the additional dosimetric and clinical-laboratory examination of the injured in dedicated medical facility.]
РА в результате разрушения защитного контейнера с источником ионизирующего излучения с последующим локальным радиоактивным загрязнением территории и лиц из населения [RA as a result of the destruc- tion of the protective container with the IR source with the subsequent local radioactive contamination of the territory and public]	В результате радиоактивного загрязнения кожных покровов возможно внешнее общее и локальное облучение в дозах, превышающих пороги детерминированных эффектов, и поступление радионуклидов в организм ингаляционным и/или алиментарным путем [External total and local exposure in doses exceeding the threshold for deterministic ef- fects due to the radioactive contamination of the skin. Inhalation and/or alimentary intake of radionuclides.]	Оповещение об обнаружении аномально высокого радиационного фона или по факту обращения пострадавших в медицинское учреждение с предположением об имевшем место радиационном воздействии. Проведение совместного радиационно-гигиенического мониторинга. Выявление лиц, мест проживания и участков территории, имеющих высокие уровни радиоактивного загрязнения. Направление пострадавших для обследования и лечения в специализированную медицинскую организацию. [Alert on the detection of the abnormally high radiation background or on admission of the injured to the hospital with the suspicion of the radiation accident. Conduction of the joint radiation-hygienic monitoring. Detection of individuals, habitats and territories with the high level of radioactive contamination. Admission of the injured for the examination and treatment into the dedicated medical facility.]
Угроза радиологической атаки в местах массового пребывания людей [A threat of radiation attack in the areas of protracted dis- placement of people]	Анализ сценариев применения радиоактивных веществ в террористических целях свидетельствует о возможности облучения в дозах, превышающих пороги детерминированных эффектов. Возможно внешнее и внутреннее облучение, радиоактивное загрязнение большого числа людей, травматические повреждения при использовании взрывных устройств, психологический стресс [Analysis of the scenarios of the use of radioactive substances in terrorist goals indicates the pos- sible exposure in doses exceeding the threshold of deterministic effects. Possible external and internal exposure, radioactive contamination of large quantities of people, traumatic injuries from the explosive devices, psychological stress]	Возможно, потребуются совместные широкомасштабные мероприятия по организации санитарно- пропускного режима и санитарной обработке пострадавших и вовлеченных лиц. Проведение радиационно-гигиенического обследования вовлеченных лиц силами СББР. Контроль за созданием необходимых санитарно-гигиенических условий для временного пребывания вовлеченных лиц (выделение временных помещений, развертывание мобильных комплексов и пунктов санитарной обработки, медицинских пунктов и т.п.). Проведение комплексного дозиметрического обследования пострадавших и вовлеченных лиц с использованием СИЧ и лабораторий дозиметрии внутреннего облучения [Probably there would be required large-scale events on the management of sanitary regime and sanitary care of the injured and affected individuals. Conduction of the radiation-hygienic survey of the affected individual by the SBBR. Control on the development of the required sanitary-hygienic conditions for the temporary stay of the affected individuals (selection of the temporary habitats, deployment of the mobile complexes and sanitary processing points, medical points etc.) Conduction of the complex dosimetry survey of the injured and affected individuals using WBC and internal dosimetry laboratories.]

Тип РА [Type or radiation accident (RA)]	Последствия и пути облучения [Consequences and ways of exposure]	Совместная деятельность [Joint actions]
РА при транспортировании радиоактивных материалов [RA during the transportation of the radioactive materials]	В случае РА II и III категории ¹ выход радиоактивных веществ может находиться на уровне или превышать пределы, установленные для аварийных условий перевозки. Возможно радиоактивное загрязнение местности и формирование доз внешнего и внутреннего облучения, как правило, не превышающих значительных порогов детерминированных эффектов [In case of RA II and III category, the release of radioactive substances can be equal to or exceed the limits for the emergency transport conditions. Possible radioactive contamination of the area and forming of doses of external and internal exposure, typically not exceeding the levels of the deterministic effect threshold.]	Участие в межведомственном взаимодействии, включая оповещение, обмен информацией и оценку радиационной обстановки. Учет лиц, которые могли подвергнуться радиационному воздействию, их сортировка по уровню радиоактивного загрязнения, проведение санитарной обработки. Направление лиц, подвергшихся радиационному воздействию, в специализированную медицинскую организацию для углубленного дозиметрического и медицинского обследования [Tracking of the individuals possibly affected by the radiation exposure, triage based on the level of radioactive contamination, decontamination. Admission of the individuals affected by radiation exposure to the dedicated medical facility for the detailed dosimetry and medical examination.]
Радиационное событие на территории другого государства, сопровождающееся выбросом радиоактивных веществ в атмосферу с последующим трансграничным переносом на территорию РФ [Radiation accident in other country with the radioactive discharge into atmosphere with the subsequent trans-border transfer on the Russian territory]	При обнаружении в атмосфере радиоактивных изотопов йода требуется проведение измерений и оценок, подтверждающих необходимость йодной профилактики для населения, ограничения потребления молока и местных сельскохозяйственных продуктов [After the detection of radioactive iodine isotopes in the atmosphere in is necessary to perform measurements and assessments confirming the requirement of the iodine prophylaxis for the public, restriction of the consuming of milk and local agricultural products.]	Оповещение и принятие решения об измерении проб атмосферного воздуха в точках постоянного контроля по согласованной программе. Обмен результатами измерений. Подготовка запроса и получение информации по результатам измерений сети постоянного контроля и наблюдения Росгидромета. Согласование оценок групп экспертной поддержки и подготовка предложений по мерам защиты населения (при необходимости). Организация и проведение радиационно-гигиенического мониторинга населения и территорий [Alert and decision-making on the measurement of the sample of atmospheric air in the permanent control points based on the coordinated program. Exchange of the results of the measurements. Preparation of the query and information transfer based on the measurement results of the network of permanent control and surveillance of Roshydromet. Coordination of assessments of expert groups and preparation of the proposals on the public protection actions Management and execution of radiation-hygienic monitoring of public and territories]
Прибытие в РФ пассажиров с территории страны, на которой произошла крупная РА [Arrival to Russia of the passengers from the country with major RA]	Существует вероятность радиоактивного загрязнения одежды и личных вещей у пассажиров [Possibility of the radioactive contamination of clothes and private belongings.]	Учитывая необходимость проведения радиационно-гигиенического контроля большого количества пассажиров, может потребоваться выделение нескольких дозиметрических групп из организаций и учреждений Роспотребнадзора и ФМБА России [Considering the requirement on the conduction of the radiation-hygienic control of large groups of passengers, it is necessary to deploy several dosimetry groups from institutions of Rosptotrebnadzor and FMBA]

¹ В соответствии с НП-053-16 «Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Правила безопасности при транспортировании радиоактивных материалов»».

Окончание таблицы

Тип РА [Type or radiation accident (RA)]	Последствия и пути облучения [Consequences and ways of exposure]	Совместная деятельность [Joint actions]
Случайное попадание радиоактивных веществ в технологический процесс (например, в плавильную печь) [Accidental insertion of the radioactive substances in technological process (i.e. melting furnace)]	Выход радиоактивных веществ в помещения и на территорию предприятия [Discharge of radioactive substances in habitats and territory of facility]	Оповещение и обмен информацией, включая данные предприятия о причинах и условиях возникновения аварийной ситуации. Выявление персонала, подвергнутого облучению. Согласование решения о дополнительном дозиметрическом и лабораторно-клиническом обследовании пострадавших в специализированной медицинской организации. При необходимости – совместное проведение радиационно-гигиенического мониторинга, в том числе с использованием передвижных лабораторий радиационного контроля. Проведение совместных оценок дозовых нагрузок на население и подготовка заключения о необходимости введения ограничительных мер на загрязненной территории и ее дальнейшей реабилитации [Alert and exchange of the information considering the facility data on the background and conditions of the emergency situation. Detection of the exposed staff. Coordination of decision on the additional dosimetry and laboratory-clinical examination of the injured in dedicated medical facility. If needed, joint execution of the radiation-hygienic monitoring, including the mobile laboratories. Conduction of the joint assessment of the doses to the public and preparation of conclusion on implementing the restrictive measures on the contaminated territory with the subsequent remediation.]

реагирования органов Госсанэпиднадзора в подобных ситуациях требуют дополнительной проработки.

Относительно частыми событиями являются РА с бытовыми радионуклидными источниками (РНИ). В результате неосознанного и неконтролируемого обращения с источником может произойти нарушение герметичности его оболочки, радиоактивное загрязнение различных поверхностей и территории, аварийное облучение людей. Определенные сложности представляет выявление лиц, подвергшихся радиационному воздействию, и реконструкция полученных ими доз облучения. При проведении такого расследования эффективное взаимодействие Роспотребнадзора и ФМБА России значительно облегчает получение адекватных оценок.

В случае РА на территории сопредельного государства важным направлением взаимодействия Роспотребнадзора и ФМБА России является оперативный контроль содержания радионуклидов в атмосферном воздухе и выпадениях в результате трансграничного перемещения радиоактивных аэрозолей воздушными массами. При этом необходимо предусматривать возможность получения результатов измерений, проводимых сетью лабораторий и станций метеонаблюдений Росгидромета, объектов автоматизированных систем радиационного контроля (АСКРО) Госкорпорации «Росатом» и других служб. Важными задачами, требующими решения со стороны органов госсанэпиднадзора для данного типа аварийных ситуаций, являются также организация и проведение радиационного контроля лиц, прибывающих на территорию РФ, импортируемых продуктов и товаров.

При радиационной транспортной аварии, сопровождающейся механическими, тепловыми, химическими и другими видами воздействия на перевозимые радиационные упаковки и частичным разрушением транспортных упаковочных комплектов, также может потребоваться совместное реагирование. Это же относится и к РА, связанным с потерей или хищением РНИ в процессе перевозки.

Оповещение и информационное взаимодействие

Передача исходной информации об угрозе возникновения и/или факте РА и дальнейшее информационное взаимодействие осуществляются в соответствии с федеральным законодательством. Основой критериев оценки угрозы возникновения и учета ЧС в РФ является утвержденная постановлением правительства РФ классификация ЧС природного и техногенного характера.

На предприятиях ядерного топливного цикла Госкорпорации «Росатом», включая атомные станции, на судостроительных и судоремонтных предприятиях, в научно-исследовательских и других организациях, где возможны РА, критерии и порядок оповещения предусмотрены действующими планами мероприятий по защите персонала и населения.

В начальный период РА медицинские и санитарно-эпидемиологические последствия могут быть недооценены. Поэтому полученная информация о любом установленном факте РА от источника информации, имеющего официальный статус в системах ведомственного и территориального оповещения, должна быть доведена до ТО Роспотребнадзора и ФМБА России в обязательном порядке. В то же время информация о случаях радиационного воздействия, поступающая от отдельных лиц и

средств массовой информации, может являться недостоверной и, как правило, преувеличенной. Такая информация требует дополнительной проверки.

Информационное взаимодействие Роспотребнадзора и ФМБА России необходимо осуществлять как в режиме повседневной деятельности, так и в случае угрозы и возникновения РА. Основой для развития информационного взаимодействия Роспотребнадзора и ФМБА России являются автоматизированные информационные системы АИАС КРВ и АСКРВ² Роспотребнадзора.

При организации информационного взаимодействия следует учитывать опыт, полученный ведомствами при информационном обмене в рамках систем радиационно-гигиенической паспортизации территорий и ЕСКИД³, а также создания и использования различных информационных ресурсов, программного обеспечения и баз данных. При этом необходимо обеспечить регулярное обновление информации, поисковую доступность, надёжный доступ и хранение, верификацию данных, комплексный анализ и своевременную передачу информации, в том числе и удалёнными пользователями. Единое информационное пространство позволит повысить эффективность внедрения новых информационных технологий в практику повседневной работы организаций и учреждений взаимодействующих ведомств.

Эффективность защитных мероприятий в значительной степени определяется тем, насколько быстро и точно население выполняет рекомендации органов, ответственных за ликвидацию последствий РА. Точное следование рекомендациям напрямую зависит от уровня доверия, которое определяется достоверностью, полнотой и оперативностью предоставления населению информации о происходящем событии. Для повышения эффективности работы с населением необходимо заблаговременное планирование, разработка и периодический пересмотр ответов на часто задаваемые вопросы.

Целесообразно предусмотреть функционирование единого информационного координирующего центра с участием представителей других заинтересованных организаций и ведомств (Госкорпорации «Росатом», АО «Концерн «Росэнергоатом»», МЧС России, ВЦМК «Защита» и др.).

Взаимодействие при проведении экспертных оценок

Одной из сложностей при принятии управленческих решений в начальный период РА является дефицит времени, который усугубляется недостатком достоверной информации о масштабах и характере РА и высокой степени ее неопределенности.

Характер и объем работы групп экспертной поддержки Роспотребнадзора и ФМБА России определяется типом и масштабом РА. Взаимодействие ведомственных ИАЦ и групп экспертной поддержки в случае угрозы и возникновения РА необходимо направить на отработку алгоритма совместных действий по следующей процедуре:

- получение необходимой информации о типе РА и/или параметрах источника ионизирующих излучений в соответствии с действующими требованиями;

- определение факторов возможного радиационного воздействия на людей;

- выбор расчетных моделей и проведение оценки ожидаемых уровней облучения персонала и населения;

- оценка радиоактивного загрязнения окружающей среды, источников водоснабжения, местных продуктов питания и при необходимости – установление критериев для введения ограничений;

- подготовка обоснованных предложений о необходимости и планируемых мерах радиационной защиты населения.

Сокращение сроков принятия решений при РА на РО I категории достигается за счет наличия у экспертов заранее разработанных сценариев возможных РА и планов мероприятий по защите персонала и населения.

Обеспечение противоаварийной готовности

Обеспечение противоаварийной готовности Роспотребнадзора и ФМБА России осуществляется путем контроля и поддержания показателей готовности органов и учреждений для условий работы в случае РА. В примерный перечень показателей готовности входят:

- наличие необходимой нормативно-методической документации;

- подготовка медицинского и инженерно-технического персонала;

- виды и объем проводимых измерений и анализов, возможности по наращиванию имеющихся сил и средств, численность и укомплектованность аварийных бригад, наличие требуемых приборов и оборудования, аттестованных методик измерений, комплектов аварийных укладок, планов проведения тренировок, учений и учебных занятий.

Роспотребнадзор и ФМБА России должны активно участвовать в подготовке сценариев и проведении межведомственных учений федерального, регионального и территориального (муниципального) уровней. Необходимо также поддерживать и развивать имеющуюся практику участия групп экспертной поддержки в международных учениях по линии МАГАТЭ, ВОЗ, Агентства по ядерной энергии Организации экономического сотрудничества и развития (АЯЭ ОЭСР).

Заключение

Скоординированные действия Роспотребнадзора и ФМБА России играют важную роль не только в случае масштабных РА, но и при любых иных РА и инцидентах, которые могут привести к облучению людей сверх установленных пределов доз и радиоактивному загрязнению окружающей среды.

Отработку взаимодействия Роспотребнадзора и ФМБА России следует осуществлять при проведении совместных учений и тренировок, а также в ходе медико-санитарного обеспечения массовых мероприятий спортивного и другого характера.

Литература

1. Постановление Правительства РФ от 3 июля 2006 г. № 412 «О федеральных органах исполнительной власти и уполномоченных организациях, осуществляющих государ-

² Автоматизированная система контроля радиационного воздействия на человека и среду обитания.

³ Единая система контроля и учета индивидуальных доз облучения граждан.

ственное управление использованием атомной энергии и государственное регулирование безопасности при использовании атомной энергии» С изменениями и дополнениями от: 15 марта 2007 г., 7 ноября 2008 г., 10 марта 2009 г., 8 сентября 2010 г., 15 февраля 2011 г., 4 сентября 2012 г., 20 октября 2017 г., 28 сентября 2018 г.

2. Приказ Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека от 21.01.2011 г. № 14 «О реорганизации межрегиональных центров по вопросам радиационной безопасности».

Поступила: 25.06.2019 г.

Самойлов Александр Сергеевич – доктор медицинских наук, профессор РАН, генеральный директор Федерального государственного бюджетного учреждения «Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна» Федерального медико-биологического агентства России, Москва, Россия

Романович Иван Константинович – доктор медицинских наук, профессор, член-корреспондент РАН, директор Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Грачев Михаил Иванович – кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения «Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна» Федерального медико-биологического агентства России, Москва, Россия

Саленко Юрий Анатольевич – кандидат медицинских наук, доцент, заведующий отделом Федерального государственного бюджетного учреждения «Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна» Федерального медико-биологического агентства России, Москва, Россия

Барковский Анатолий Николаевич – главный научный сотрудник, руководитель Федерального радиологического центра Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. **Адрес для переписки:** 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: ANBarkovski@yandex.ru

Репин Виктор Степанович – доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник, руководитель отдела здоровья Федерального радиологического центра Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Богданова Людмила Серафимовна – старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения «Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна» Федерального медико-биологического агентства России, Москва, Россия

Для цитирования: Самойлов А.С., Романович И.К., Грачев М.И., Саленко Ю.А., Барковский А.Н., Репин В.С., Богданова Л.С. К вопросу о координации действий сил и средств организаций и учреждений ФМБА России и Роспотребнадзора в чрезвычайных ситуациях радиационного характера // Радиационная гигиена. – 2019. – Т. 12, № 3. – С. – 96-105 DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-3-96-105

On the issue of coordination of the activities of forces and means of organizations and institutions of the Federal Medical and Biological Agency of Russia and Rospotrebnadzor in emergency situations of a radiation nature

Alexander S. Samoilov ¹, Ivan K. Romanovich ², Mikhail I. Grachev ¹, Yury A. Salenko¹, Anatoly N. Barkovsky ², Viktor S. Repin ², Liudmila S. Bogdanova ¹

¹ State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia

² 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 article identifies areas of joint activities and mechanisms of interaction of Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing (Rospotrebnadzor) and Federal Medical and Biology Agency (FMBA of Russia), their territorial bodies and institutions in the event of radiation accidents.

Anatoly N. Barkovsky

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

Address for correspondence: Mira str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: ANBarkovski@yandex.ru

Extensive practical experience gained by specialists of FMBA of Russia and Rospotrebnadzor, was the basis for the development of the draft of Concept "Organization of radiation and hygienic measures in emergency situations of a radiation nature and coordination the activities of forces and means of FMBA of Russia and Rospotrebnadzor organizations and institutions" (2018). The article presents the main provisions of the draft document, which, after discussion and refinement, as the authors hope, this publication will contribute, draft of Concept can be submitted for approval. The modern infrastructure of Rospotrebnadzor and FMBA of Russia has all the necessary elements and prerequisites for coordinated work of expert support groups, use of the mobile specialized radiation-hygienic teams in emergency situations. The possible types of radiation accidents that may require joint activities of the bodies and institutions of Rospotrebnadzor and FMBA of Russia are considered. In the initial period of a radiation accident in conditions of large uncertainties related to the assessment of the radiation situation and doses on personnel and the public, it is necessary to ensure operative preparedness of consolidated proposals on making decisions on a complex of sanitary, hygienic, anti-epidemic and protective measures. Much attention is paid to mutual notification and information interaction. Важным элементом обеспечения противоаварийной готовности, An important element in ensuring emergency preparedness, working out algorithms of the interaction of management bodies and practical skills of the personnel of Rospotrebnadzor and FMBA of Russia is the joint planning, organization and conduct of training and exercises.

Key words: FMBA of Russia, Rospotrebnadzor, radiation accident, emergency response, radiation safety, radionuclide sources.

References

1. Statement of the Government of the Russian Federation #412, 03.07.2006 "On the federal executive branch agencies and designated institutions governing the use of atomic energy and state regulation of the atomic energy safety". With corrections and updates from: 15 March 2007, 7 November 2008, 10 March 2009, 8 September 2010, 15 February 2011, 4 September 2012, 20 October 2017, 28 September 2018.
2. The Order of the Federal Service on Surveillance of Consumer Rights Protection and Human Well-Being № 14, 21.01.2011 «On the reorganization of the trans-regional centers on the issues of the radiation safety».

Received: June 25, 2019

Alexander S. Samoilov – Dr. Sc. Med., Prof. of RAS, general director, State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia

Ivan K. Romanovich, Dr. Sc. Med., Prof., Corresponding member of RAS, 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, Saint-Petersburg, Russia

Mikhail I. Grachev – PhD Med., leading researcher, State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia

Yury A. Salenko – PhD Med., head of department, State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia

For correspondence: Anatoly N. Barkovsky – Head of 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 (Mira str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: ANBarkovski@yandex.ru)

Viktor S. Repin – Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of Health Department, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

Liudmila S. Bogdanova – senior researcher, State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia

For citation: Samoilov A.S., Romanovich I.K., Grachev M.I., Salenko Yu.A., Barkovsky A.N., Repin V.S., Bogdanova L.S. On the issue of coordination of the activities of forces and means of organizations and institutions of the Federal Medical and Biological Agency of Russia and Rospotrebnadzor in emergency situations of a radiation nature. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene, 2019, Vol.12, No 3, pp. 96-105 (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-3-96-105

Обеспечение радиационной безопасности при проведении Чемпионата мира по футболу 2018

К.А. Сапрыкин, А.В. Громов, С.А. Иванов

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 статье представлены направления деятельности Роспотребнадзора по обеспечению радиационной безопасности и противодействию радиационному терроризму в период проведения Чемпионата мира по футболу 2018. Одним из главных направлений деятельности Роспотребнадзора в период проведения Чемпионата мира по футболу 2018 было обеспечение радиационной безопасности пищевых продуктов и питьевой воды. Данная задача была решена путём размещения стационарных систем радиационного контроля и организацией сплошного радиационного контроля всей поступающей пищевой продукции и питьевой воды, а также выборочным радиационным контролем проб готовой продукции и питьевой воды на пунктах общественного питания стадионов. Следующим важным направлением деятельности было обеспечение радиационной безопасности мест массового сосредоточения людей с помощью приборов радиационного контроля и/или передвижных радиологических лабораторий (при наличии). Третьим направлением деятельности были идентификация и экспертиза выявленных источников ионизирующего излучения при срабатывании систем радиационного контроля. Решение данной задачи было выполнено с помощью портативных спектрометров-идентификаторов. Четвертым, не менее важным направлением, являлось межведомственное взаимодействие, эффективность которого прямо влияет на реагирование и решение вопросов, связанных с нештатными ситуациями или ситуациями, угрожающими радиационной безопасности. В статье также кратко описана деятельность ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева в рамках обеспечения радиационной безопасности во время проведения Чемпионата мира по футболу 2018.

Ключевые слова: радиационная безопасность, контроль, противодействие ядерному терроризму, Чемпионат мира по футболу 2018, массовое спортивное мероприятие.

Введение

При проведении массовых спортивных мероприятий вопросам обеспечения безопасности участников, гостей и населения уделяется особое внимание [1–4]. И для этого имеются веские основания. В мире за 10 лет произошло более 6 тыс. террористических актов, в которых погибли и пострадали свыше 25 тыс. человек. В настоящее время, по оценкам экспертов, в мире насчитывается около 500 террористических организаций и экстремистских групп. Российские правоохранительные органы беспокоит тот факт, что все чаще целями террористов становятся места массового пребывания граждан [5].

Проведение массовых спортивных мероприятий, имеющих статус международных, вызывает очень большое общественное внимание по всему миру и широко освещается СМИ. Соответственно, риск террористической атаки в период проведения массового спортивного мероприятия очень велик, поскольку успешная её реализация вызовет широчайший общественный и

международный политический резонанс. Необходимо отметить и то, что время и место проведения массового спортивного мероприятия известны за 3–4 года до его начала, что даёт возможность для подготовки к реализации злого умысла.

Использование источников ионизирующего излучения в современном мире получило широчайшее распространение, а это, в свою очередь, повышает их доступность для хищения и использования в злонамеренных целях [6, 7]. Кроме того, в обеспечении безопасности массовых спортивных мероприятий используется значительное количество специальной досмотровой техники и аппаратуры, генерирующих ионизирующее излучение. В этой связи противодействие радиационному терроризму и обеспечение радиационной безопасности при проведении Чемпионата мира по футболу 2018 являлось частью важной задачи по обеспечению общей безопасности данного спортивного мероприятия. Для решения данной задачи были привлечены различные министерства и ведомства, в том числе и Роспотребнадзор.

Сапрыкин Кирилл Александрович

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

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

Направления деятельности Роспотребнадзора в обеспечении радиационной безопасности при проведении Чемпионата мира по футболу 2018

Деятельность Роспотребнадзора по обеспечению радиационной безопасности на этапе подготовки к проведению чемпионата мира по футболу 2018 нами представлена в предыдущих публикациях [8, 9].

С учётом опыта в обеспечении санитарно-эпидемиологического благополучия участников и гостей при проведении Универсиады в Казани в 2013 г. и зимних Олимпийских и Паралимпийских игр в Сочи в 2014 г., основными направлениями в обеспечении радиационной безопасности при проведении Чемпионата мира по футболу 2018, являлись:

- радиационный контроль пищевых продуктов и питьевой воды;
- радиационный контроль мест массового сосредоточения людей;
- идентификация и экспертиза выявленных источников ионизирующего излучения при срабатывании систем радиационного контроля;
- взаимодействие с представителями других министерств и ведомств.

Первое направление: обеспечение безопасности пищевых продуктов и питьевой воды, в том числе и по радиологическим показателям, в период проведения любого массового мероприятия является одной из важнейших задач. Поэтому контроль безопасности пищевых продуктов и питьевой воды должен быть организован в самых уязвимых звеньях – путях снабжения и местах приготовления пищи [1, 2, 10–13]. Основной особенностью Чемпионата мира по футболу 2018 было проведение матчевых встреч в 11 городах нашей страны. Поэтому централизованная организация через единый распределительный центр поставок пищевых продуктов и питьевой

воды на объекты общественного питания стадионов, а вместе с ними и радиационный контроль, как это было на зимних Олимпийских играх в Сочи в 2014 г., не представлялась возможной. Учитывая сложившиеся обстоятельства, в период подготовки к Чемпионату мира по футболу 2018 была разработана, а в период его проведения – реализована схема, состоящая из трёх этапов сплошного радиационного контроля пищевых продуктов и питьевой воды, поступающих на объекты общественного питания стадионов (рис.).

Как видно из представленной схемы, каждое транспортное средство с пищевыми продуктами и питьевой водой, перед тем как попасть в зону разгрузки стадиона, дважды проходило радиационный контроль с помощью систем радиационного контроля (СРК). Данные системы были размещены как на удалённых пунктах досмотра грузов (УПДГ), так и на транспортных контрольно-пропускных пунктах (КПП) периметра безопасности стадионов. Повторный досмотр транспортных средств был необходим, поскольку существовали риски вскрытия транспортных средств на маршруте «УПДГ – стадион» с террористическими целями загрязнения радиоактивными веществами пищевых продуктов и питьевой воды. На третьем этапе специалистами подразделений гигиены питания Управлений и Центров гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора проводился отбор готовой продукции, пищевых продуктов и питьевой воды из пунктов общественного питания стадионов. В дальнейшем отобранные пробы доставлялись в лаборатории радиационного контроля Центров гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора для последующих измерений, которые проводились, как правило, в тот же день.

Таким образом, в период проведения Чемпионата мира по футболу 2018 специалистами Роспотребнадзора была отобрана 441 проба пищевой продукции и прове-

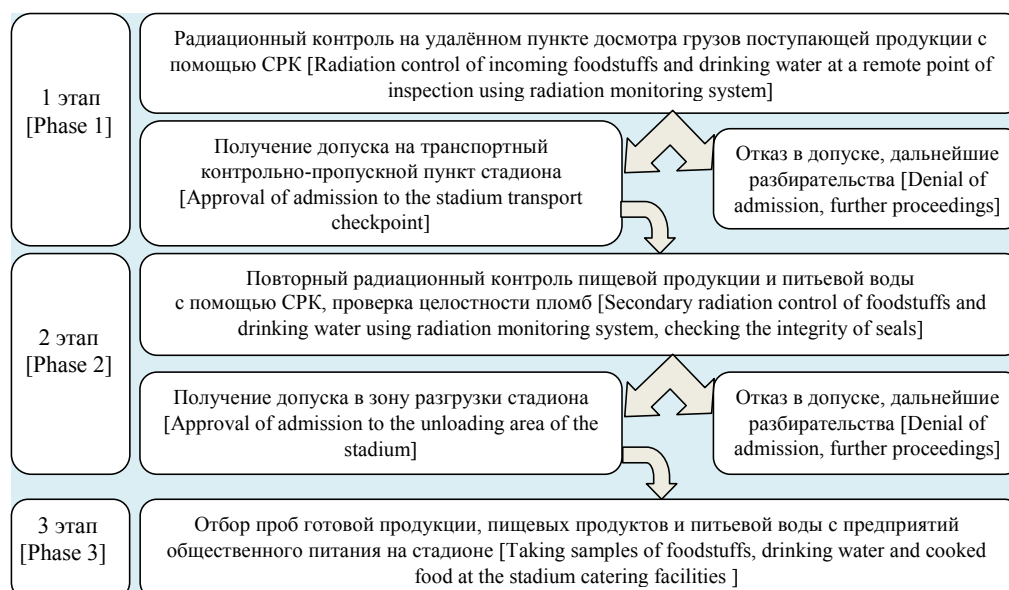


Рис. Схема организации радиационного контроля пищевых продуктов и питьевой воды в период проведения Чемпионата мира по футболу 2018
[Organizational chart of radiation control of foodstuffs and drinking water at the FIFA World Cup 2018]

дено 729 исследований на определение содержания в них радионуклидов цезия-137 и стронция-90. Результаты исследований всех проб соответствовали требованиям СанПиН 2.3.2.2650-10 «Дополнения и изменения № 18 к санитарно-эпидемиологическим правилам и нормативам СанПиН 2.3.2.1078-01 «Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов»». Также в указанный период было проведено 166 исследований 86 проб питьевой воды для определения суммарной альфа- и суммарной бета- активности радионуклидов, результаты которых не превышали установленные в НРБ-99/2009 уровни предварительной оценки качества питьевой воды 0,2 Бк/кг и 1,0 Бк/кг соответственно.

Второе направление: обеспечение радиационной безопасности мест массового сосредоточения людей [1, 2, 10–13]. Основной задачей при проведении данного вида контроля является выявление на территории локального источника ионизирующего излучения, представляющего потенциальную опасность для людей. Для выполнения этой задачи использовалась портативная дозиметрическая аппаратура. Также в составе некоторых лабораторий радиационного контроля Центров гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора имелись передвижные радиологические лаборатории, которые были вовлечены в проведение автомобильной гамма-съемки подъездных путей к стадионам. В таблице представлены данные по проведённому радиационному контролю мест массового сосредоточения людей по информации, предоставленной из Центров гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора в субъектах Российской Федерации,

где проходили матчевые встречи в рамках Чемпионата мира по футболу 2018.

Всего лабораториями радиационного контроля Центров гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора в рамках проведения радиационного контроля мест массового сосредоточения людей было проведено более 40,5 тыс. измерений мощности амбиентной дозы (МАД) гамма-излучения. Измерения проводились на территориях вокруг стадионов, в фанатских зонах, парках и скверах. Из 40,5 тыс. измерений более 37 тыс. измерений приходилось на пешеходную гамма-съемку, а 3,2 тыс. измерений – на автомобильную. По результатам проведённого радиационного контроля установлено, что максимальное значение МАД гамма-излучения составило 0,22 мкЗв/ч при среднем значении 0,11 мкЗв/ч, что не превышало уровень природного гамма-фона.

Третье направление: идентификация и экспертиза выявленных источников ионизирующего излучения (ИИИ) при срабатывании систем радиационного контроля. Реализация данного направления позволяет решить задачу в рамках своей компетенции по незаконному перемещению радионуклидных ИИИ и попыткам их доставки на территорию ограниченного доступа, к которой, в частности, и относится периметр безопасности стадиона [1, 2, 10–14]. Данный вид радиационного контроля выполняется непрерывно, в течение всего времени прохождения массового спортивного мероприятия. Часть задачи, связанной с обнаружением радионуклидных ИИИ, позволили решить СРК, размещённые на УПДГ и КПП стадионов, в аэропортах, на железнодорожных вокзалах, в фанатских

Радиационный контроль мест массового сосредоточения людей

Таблица

[Table]

Radiation control of places of mass people crowding]

Город [Region]	Количество измерений		Среднее значение МАД, мкЗв/ч [Mean dose rate, μ Sv/h]	Максимальные значения МАД, мкЗв/ч [Maximum dose rate, μ Sv/h]
	Пешеходная гамма-съемка [Walk-over gamma-ray survey]	Автомобильная гамма-съемка [Car-borne gamma-ray survey]		
Москва [Moscow]	4 116	–	0,13	0,22
Санкт-Петербург [St. Petersburg]	2 668	–	0,16	0,22
Волгоград [Volgograd]	400	–	0,11	0,18
Екатеринбург [Yekaterinburg]	2 015	–	0,09	0,15
Калининград [Kaliningrad]	980	–	0,12	0,16
Ленинградская область [Leningrad region]	42	–	0,18	0,20
Московская область [Moscow region]	47	–	0,10	0,11
Нижний Новгород [Nizhny Novgorod]	1 630	1 900	0,14	0,18
Ростов-на-Дону [Rostov-on-Don]	40	1 301	0,10	0,11
Самара [Samara]	6 952	–	0,11	0,13
Саранск [Saransk]	8 800	–	0,07	0,09
Сочи [Sochi]	9 660	–	0,10	0,13
ВСЕГО [TOTAL]	37 335	3 201	0,11	0,22

зонах и прочих местах массового сосредоточения людей. СРК представлены довольно широким перечнем модификаций, в зависимости от объекта контроля: пешеходные, автомобильные (отдельно для легковых и грузовых транспортных средств), железнодорожные, для контроля складских помещений, почтовых и багажных отправок. СРК могут оборудоваться гамма- и нейтронным детектором или только гамма-детектором. Принципом действия вышеперечисленных модификаций СРК является измерение скорости счета (количества импульсов в единицу времени) от контролируемого объекта и определение превышения этого показателя над фоновым значением. Кроме того, эти системы имеют регулируемый порог срабатывания, что позволяет провести настройку, гарантирующую безопасность контролируемой продукции, в том числе пищевой.

В современном мире размещение СРК в местах массового сосредоточения людей (аэропорты и железнодорожные вокзалы) является необходимой мерой по обеспечению радиационной безопасности в комплексе мер по обеспечению общей безопасности [1, 2, 14]. Не являлось исключением размещение подобных систем при проведении Чемпионата мира по футболу 2018. Срабатывание СРК во время прохождения контроля объектом говорит о превышении порога, что является потенциальной угрозой радиационной безопасности и требует немедленного реагирования. Необходимым условием обеспечения оперативности в период проведения Чемпионата мира по футболу 2018 являлась реализация следующего комплекса мер:

- размещение групп реагирования в месте, максимально приближенном к пунктам размещения СРК;
- проведение идентификации радионуклидов в объекте контроля;
- заполнение бланка экспертного заключения с рекомендациями;
- оповещение заинтересованных должностных лиц;
- принятие управленческого решения.

В период проведения Чемпионата мира по футболу 2018 г., с 14.06.2018 г. по 15.07.2018 г. специалистами Роспотребнадзора было зарегистрировано 17 срабатываний СРК. Все объекты срабатывания можно разделить на 3 вида:

- люди – 10 срабатываний;
- продукция – 5 срабатываний;
- ложные срабатывания – 2 срабатывания.

Основное количество срабатываний СРК в период проведения Чемпионата мира по футболу 2018 приходилось на людей, в организме которых присутствовали медицинские радионуклиды, введенные с лечебной (^{131}I – 9 человек) или диагностической целями ($^{99\text{m}}\text{Tc}$ – 1 человек). Продукция, на которую были зафиксированы срабатывания СРК, представляла собой – керамическую посуду (2 срабатывания), авиационный прибор (1 срабатывание), керамическую плитку (1 срабатывание) и почтовое отправление в логистическом почтовом центре (1 срабатывание). Во всех случаях в продукции идентифицированы природные радионуклиды. Также были зарегистрированы 2 ложных срабатывания СРК без объекта контроля (на КПП стадионов в Волгограде и Казани). В работе систем радиационного контроля, когда идет серия многократных повторных измерений, заложен определенный процент ложных срабатываний. Поэтому возникновение

ложных срабатываний случайно, непрогнозируемо и, соответственно, неустранимо [14].

В рамках работы по данному направлению для идентификации выявленных с помощью СРК источников ионизирующего излучения впервые использовались переносные сцинтилляционные гамма-спектрометры МКГ-АТ1321. Особенности данных спектрометров являются их компактность, малый вес, быстрое приведение в рабочее состояние, проведение дозиметрических измерений, автоматическая идентификация радионуклидов без использования персонального компьютера. Благодаря наличию встроенного модуля GPS, все выполненные измерения можно привязать к географическим координатам, тем самым выполнив радиационное картографирование. С помощью данных спектрометров во время проведения Чемпионата мира по футболу 2018 были уверенно идентифицированы радионуклиды во всех объектах контроля при срабатывании СРК. Необходимо отметить, что на зимних Олимпийских играх в Сочи в 2014 г. использовался полупроводниковый (ППД) электроохлаждаемый спектрометр с детектором из особо чистого германия (ОЧГ). Высокое разрешение детектора из ОЧГ в данном случае не имело принципиального значения, поскольку предполагалось, что в случае выявления несанкционированного радионуклидного ИИИ его активность позволит уверенно идентифицировать радионуклид сцинтилляционному детектору спектрометра МКГ-АТ1321, обладающему в значительной мере худшим разрешением. К тому же спектрометр МКГ-АТ1321 имеет ряд существенных преимуществ: его эксплуатация не требует высококвалифицированного персонала, а стоимость спектрометра несоизмеримо ниже стоимости ППД спектрометра, что является основным препятствием к широкому использованию последних в лабораториях радиационного контроля Центров гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора. В то же время появление спектрометров МКГ-АТ1321 в составе лабораторий радиационного контроля Центров гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора существенно расширяет их возможности и позволяет использовать спектрометры и после Чемпионата мира по футболу 2018 в повседневной профессиональной деятельности – в первую очередь, выполнить идентификацию при обнаружении бесхозного источника ионизирующего излучения (при срабатывании СРК на мусороперерабатывающем предприятии), почтового отправления, багажа (при срабатывании СРК на почтовом, таможенном терминале или в аэропорту).

Четвёртое направление: взаимодействие с представителями других министерств и ведомств. В период проведения Чемпионата мира по футболу 2018 важным условием обеспечения безопасности, в том числе радиационной, было непрерывное взаимодействие Роспотребнадзора с МО России, ФСБ России, МЧС России, МВД России, Росатомом и пр. В состав региональных межведомственных оперативных штабов (РМОШ) входили представители Роспотребнадзора, что позволило совместно с представителями других министерств и ведомств обсуждать текущую оперативную ситуацию и принимать управленческие решения. В это же время проводились совместные дежурства оперативных бригад Роспотребнадзора, МО России, МЧС России, Росатома (Аварийно-технический центр), в частности, на стадионах во время проведения тренировок и официаль-

ных матчевых встреч, что повышало эффективность реагирования на случай возникновения нештатной ситуации, в частности по радиационному фактору.

Таким образом, можно выделить основные задачи межведомственного реагирования, которые были успешно выполнены в период проведения Чемпионата мира по футболу 2018:

- обмен информацией о текущей радиационной обстановке в местах проведения Чемпионата мира по футболу 2018;
- обмен информацией в целях планирования и реализации мероприятий контроля радиационной обстановки для обеспечения и повышения эффективности реализуемых полномочий;
- координация совместных действий по мониторингу радиационной обстановки, исходя из оптимального использования сил и средств по оперативному выявлению радиационной обстановки и реагированию в случае угрозы радиационной безопасности;
- оперативное доведение информации до ответственных руководящих должностных лиц о результатах мониторинга радиационной обстановки и реагирования в случае срабатывания СРК как сигнала о возможной угрозе радиационной безопасности.

**Участие ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева
в обеспечении радиационной безопасности
в период проведения чемпионата мира
по футболу 2018**

В целях обеспечения санитарно-гигиенических мероприятий, необходимых для поддержания санитарно-эпидемиологического благополучия в период проведения чемпионата мира по футболу FIFA 2018 г. в Российской Федерации, в соответствии с приказом Роспотребнадзора от 01.06.2018 г. № 411, ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева направила своих специалистов в города Самару, Волгоград, Калининград и Саранск. По прибытии в указанные города специалисты ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева поступили в распоряжение Управлений Роспотребнадзора соответствующих субъектов Российской Федерации.

Перед специалистами ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева были поставлены следующие задачи:

- оказание методической и практической помощи организациям Роспотребнадзора Самарской, Волгоградской, Калининградской областей и Республики Мордовия по вопросам обеспечения готовности к работе в условиях чрезвычайных ситуаций санитарно-эпидемиологического характера;
- участие в проведении санитарно-противоэпидемиологических мероприятий при регистрации очагов радиоактивного загрязнения;
- проведение экспертизы и оказание методической помощи для принятия решений при срабатывании СРК.

В рамках выполнения последней задачи в указанных выше городах в период с 14.06.2018 по 07.07.2018 г. во время командировки специалистов ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева было зарегистрировано 5 срабатываний СРК:

- 3 срабатывания СРК произошли в аэропортах (1 в Калининграде и 2 в Самаре);
- 2 срабатывания СРК произошли на территории КПП стадионов (в Самаре и ложное – в Волгограде).

Объектами срабатываний были 3 человека с введенным с лечебной целью ^{131}I и один авиационный прибор, находившийся в ручной клади.

Помимо этого, в соответствии с вышеуказанным приказом Роспотребнадзора, на базе ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева в Санкт-Петербурге, где также проходили матчи первенства мира по футболу, была сформирована бригада круглосуточного аварийного реагирования на случай возникновения ситуаций, связанных с утерей контроля над ИИИ. Оперативное выдвижение для бригады аварийного реагирования в случае возникновения радиационного инцидента должна была обеспечить передвижная радиологическая лаборатория (ПРЛ), на базе автомобиля Форд Транзит. Для работы бригады ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева на случай возникновения радиационного инцидента ПРЛ была укомплектована следующим оборудованием:

- полевым ППД гамма-спектрометром с электроохлаждением;
- полевым сцинтилляционным гамма-спектрометром с детектором NaI(Tl);
- полевым сцинтилляционным гамма-спектрометром с детектором LaBr;
- йодным спектрометром излучения человека с кристаллом NaI(Tl);
- дозиметром ДКГ-01 СТАЛКЕР для проведения автомобильной гамма-съемки местности;
- спектрометром МКС-АТ6101С для пешеходной гамма-съемки местности;
- дозиметрами рентгеновского и гамма-излучения ДКС-АТ1123, ДКС-АТ1121;
- дозиметром-радиометром МКС-АТ117М с детекторами альфа-, бета-, гамма-излучения и нейтронов;
- индивидуальными прямопоказывающими дозиметрами ДКГ-РМ1621;
- мобильной установкой для прокачки проб атмосферного воздуха;
- пробоотборным устройством для отбора проб воды поверхностных водоемов СП-2;
- пробоотборным устройством для почвы;
- мешками полиэтиленовыми для проб почвы;
- средствами индивидуальной защиты.

Комплектация ПРЛ средствами измерений и отбора проб из окружающей среды позволяла бригаде аварийного реагирования выполнить широкий круг задач, а именно:

- провести автомобильную и пешеходную гамма-съемку местности с координатной привязкой результатов к местности;
- провести измерение МАД гамма-, нейтронного- и рентгеновского излучения, в том числе импульсного;
- провести измерения поверхностного радиоактивного загрязнения людей, одежды, поверхностей транспортных средств, зданий, сооружений и прочих объектов альфа-бета-излучающими радионуклидами;
- провести предварительную оценку загрязнения воздуха по суммарной объемной бета-активности аэрозолей;
- поиск радионуклидных источников и локальных загрязнений гамма-излучающими радионуклидами;
- пробоотбор и экспрессное определение радионуклидного состава и удельной активности техногенных

гамма-излучающих радионуклидов в объектах окружающей среды (вода, почва, растительность, пищевые продукты);

- определение содержания гамма-излучающих радионуклидов в организме людей;
- оперативная оценка доз аварийного облучения населения, анализ радиационной обстановки и разработка рекомендаций по неотложным мерам радиационной защиты населения в случае обнаружения локальных радиоактивных загрязнений;
- оперативный прогноз возможных доз облучения населения на территории радиационного загрязнения в случае отсутствия мер по радиационной защите;
- оперативное оповещение органов исполнительной власти о радиационной обстановке на загрязнённой территории.

Заключение

За последние несколько лет в нашей стране был успешно проведен целый ряд массовых спортивных мероприятий. Обеспечение безопасности Чемпионата мира по футболу 2018 как одного из самых массовых мероприятий настоящего времени требовало беспрецедентного количества специалистов в этой области, поскольку футбольное первенство проходило в 11 городах. Не менее важным было организовать и координировать взаимодействие всех заинтересованных в этом направлении служб и ведомств. Особое внимание было уделено угрозам применения в террористических целях средств массового поражения, в том числе и ИИИ и радиоактивных веществ. Залогом успешного выполнения поставленных задач являлась тщательная подготовка к Чемпионату мира 2018, включавшая в себя мероприятия по обеспечению радиационной безопасности ещё на этапе проектирования как новых стадионов и объектов инфраструктуры, так и реконструкции существующих. Анализ обеспеченности лабораторий радиационного контроля Центров гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора приборами радиационного контроля позволил своевременно расширить их возможности в идентификации ИИИ в полевых условиях путем приобретения спектрометров-идентификаторов МКГ-АТ1321. Необходимо также обратить внимание и на организацию сплошного радиационного контроля с помощью СРК прибывающих людей в аэропортах, и повторный контроль на стадионах, а также всех поступающих грузов на стадионы и другие объекты, задействованные в проведении футбольного первенства. На Чемпионате мира по футболу 2018 была разработана и применена новая схема радиационного контроля грузов и транспорта. Данная схема состояла в организации радиационного контроля всех грузов на УПДГ, затем повторный контроль на транспортных КПП стадионов, а в отношении пищевых продуктов и воды – ещё и выборочный контроль на пунктах общественного питания стадионов. Тем самым описанный комплекс мер, а также эффективное межведомственное взаимодействие позволили Роспотребнадзору качественно и в полном объёме выполнить поставленные перед ним задачи по обеспечению радиационной безопасности и противодействию радиационному терроризму при проведении Чемпионата мира по футболу 2018.

Авторы выражают благодарность за представленные данные по результатам измерений и исследований, использованные при написании данной статьи:

- заведующей отделом РГ ФБУЗ «ЦГиЭ в городе Москве» А.И. Румянцевой;
- заведующему отделом РГ ФБУЗ «ЦГиЭ в городе Санкт-Петербурге» А.В. Ерёмину;
- заведующей отделом РГ ФБУЗ «ЦГиЭ в Волгоградской области» И.В. Камышниковой;
- заведующей отделом РГ ФБУЗ «ЦГиЭ в Свердловской области» О.С. Филипповой;
- заведующей отделом РГ ФБУЗ «ЦГиЭ в Республике Татарстан» А.Л. Шарафутдиновой;
- заведующему отделом РГ ФБУЗ «ЦГиЭ в Калининградской области» А.С. Девятайкину;
- заведующей отделом РГ ФБУЗ «ЦГиЭ в Нижегородской области» Г.А. Чеховой;
- заведующему отделом РГ ФБУЗ «ЦГиЭ в Ростовской области» В.А. Поливенко;
- заведующей отделом РГ ФБУЗ «ЦГиЭ в Самарской области» О.П. Матвеевой;
- заведующей отделом санитарного гигиенического анализа и экспертизы ФБУЗ «ЦГиЭ в Республике Мордовия» М.Ф. Мартыновой;
- заведующему отделом РГ ФБУЗ «ЦГиЭ в Краснодарском крае» А.О. Вечернему;
- заведующему отделом РГ Сочинского филиала ФБУЗ «ЦГиЭ» А.Ю. Грибанову и химику-эксперту Т.В. Бузмаковой;
- заведующей отделом РГ ФБУЗ «ЦГиЭ в Московской области» Е.Г. Аветисовой;
- заведующей санитарной гигиенической лабораторией ФБУЗ «ЦГиЭ в Ленинградской области» М.Г. Яманкиной и врачу по общей гигиене Е.А. Пономаренко.

Литература

1. XXII Олимпийские зимние игры и XI Паралимпийские зимние игры 2014 года в г. Сочи. Обеспечение санитарно-эпидемиологического благополучия / Под редакцией Г.Г. Онищенко, А.Н. Куличенко. – Тверь: ООО «Издательство «Триада», 2015. – 576 с.
2. Онищенко, Г.Г. XXVII Всемирная летняя универсиада 2013 года в Казани. Обеспечение санитарно-эпидемиологического благополучия / Г.Г. Онищенко, Б.П. Кузькин, Е.Б. Ежлова [и др.]; под ред. акад. Г.Г. Онищенко, акад. В.В. Кутырева // Обеспечение санитарно-эпидемиологического благополучия. – Тверь: Триада, 2013. – 527 с.
3. Онищенко, Г.Г. Обеспечение радиационной безопасности XXVII Всемирной летней Универсиады в Казани органами и учреждениями Роспотребнадзора. Сообщение 1. Обеспечение радиационной безопасности на подготовительном этапе / Г.Г. Онищенко, И.К. Романович, М.А. Патышина [и др.] // Радиационная гигиена. – 2013. – Т.6, № 3. – С. 5-12.
4. Романович, И.К. Организация радиационного контроля на этапах строительства олимпийских объектов в городе-курорте Сочи / И.К. Романович, К.А. Сапрыкин // Радиационная гигиена. – 2015. – Т.8, № 2. – С. 25-31.
5. За 10 лет в мире жертвами терактов стали свыше 25 тыс. человек: <https://www.rbc.ru/society/27/06/2005/5703c4a9a7947dde8e0c879> (дата обращения: 25.02.2019)
6. Серия изданий МАГАТЭ по физической ядерной безопасности № 18 «Системы и меры физической ядерной безопасности при проведении крупных обществен-

- ных мероприятий». Практическое руководство. – Вена, 2014. – 83 с.
7. Ильин, Л.А. Медицинские аспекты противодействия радиологическому и ядерному терроризму / Ильин Л.А. [и др.]; под общей редакцией Л.А. Ильина. – М.: ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 2018. – 392 с.
 8. Сапрыкин, К.А. О ходе подготовки учреждений Роспотребнадзора к обеспечению радиационной безопасности при проведении Чемпионата мира по футболу 2018 / К.А. Сапрыкин // Радиационная гигиена. – 2018. – Т. 11, № 2. – С. 98-104.
 9. Сапрыкин, К.А. Обеспечение радиационной безопасности на этапах подготовки и проведения чемпионата мира по футболу 2018 / К.А. Сапрыкин, А.Н. Барковский // Актуальные вопросы радиационной гигиены: Материалы международной научно-практической конференции. – СПб, 2018. – С. 241-243.
 10. Романович, И.К. Обеспечение радиационной безопасности и противодействие радиационному терроризму при проведении массовых спортивных мероприятий / И.К. Романович; под редакцией Г.Г. Онищенко, А.Ю. Поповой. – СПб.: НИИРГ имени проф. П.В. Рамзаева, 2016. – 364 с.
 11. Онищенко, Г.Г. Обеспечение радиационной безопасности XXVII Всемирной летней Универсиады в Казани органами и учреждениями Роспотребнадзора. Сообщение 2. Обеспечение радиационной безопасности в период проведения Универсиады / Г.Г. Онищенко, И.К. Романович, М.А. Пятяшина [и др.] // Радиационная гигиена. – 2013. – Т. 6, № 3. – С. 13-22.
 12. Романович, И.К. Деятельность Санкт-Петербургского НИИ радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева по обеспечению радиационной безопасности XXII зимних Олимпийских и XI зимних Паралимпийских игр 2014 года в г. Сочи / И.К. Романович, А.Н. Барковский, Г.Я. Брук [и др.] // Радиационная гигиена. – 2014. – Т. 7, № 2. – С. 5-14.
 13. Романович, И.К. Обеспечение радиационной безопасности XXII Олимпийских зимних и XI Паралимпийских зимних игр 2014 года в г. Сочи / И.К. Романович, А.А. Горский, В.С. Степанов [и др.] // Актуальные вопросы радиационной гигиены: Сб. тезисов конференции. – СПб, 2014. – С. 167-170.
 14. Сапрыкин, К.А. Опыт использования систем радиационного контроля для обеспечения радиационной безопасности при проведении чемпионата мира по футболу 2018 / К.А. Сапрыкин, А.Н. Барковский, И.К. Романович // Актуальные вопросы радиационной гигиены: Материалы международной научно-практической конференции. – СПб, 2018. – С. 243-245.

Поступила: 16.05.2019 г.

Сапрыкин Кирилл Александрович – заведующий лабораторией дозиметрии природных источников, старший научный сотрудник Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. **Адрес для переписки:** 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: k.saprykin@niirg.ru

Громов Алексей Валерьевич – заведующий лабораторией аварийного реагирования, старший 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

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

Для цитирования: Сапрыкин К.А., Громов А.В., Иванов С.А. Обеспечение радиационной безопасности при проведении Чемпионата мира по футболу 2018 // Радиационная гигиена. – 2019. – Т. 12, № 3. – С. 106-113. DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-3-106-113

Ensuring radiation safety at the FIFA World Cup 2018

Kirill A. Saprykin, Alexey V. Gromov, Sergey A. Ivanov

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 paper presents the activities of Rospotrebnadzor to ensure radiation safety in the framework of nuclear and radiation terrorism counteractions during the FIFA World Cup 2018 in Russia. One of the main activities of Rospotrebnadzor was to ensure radiation safety of food and drinking water. This task was solved by placing stationary radiation monitoring systems and organizing of continuous radiation monitoring of all foodstuffs and drinking water incoming to all sports facilities. In addition, selective radiation monitoring of samples of cooked food and drinking water at the catering facilities of the stadiums was organized. The second important

Kirill A. Saprykin

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

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

activity was to ensure the radiation safety at the sites of mass people crowding with the use of portable equipment and/or car-borne radiological laboratories. The third activity was the identification and examination of the identified sources of ionizing radiation in case of alarm of radiation monitoring systems. The last but not the least activity was the interdepartmental cooperation, the effectiveness of which directly affects the response and resolution of issues related to emergency situations or situations that threaten radiation safety. The paper also briefly described the activities of the Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev in the framework of ensuring radiation safety at the FIFA World Cup 2018.

Key words: radiation safety, monitoring, nuclear terrorism counteractions, FIFA World Cup 2018, massive sporting event.

References

1. The XXII Olympic Winter Games and the XI Paralympic Winter Games of 2014 in Sochi. Ensuring sanitary and epidemiological well-being. Ed.: Onischenko G.G., Kulichenko A.N. Tver, Triada Publishing House, 2015, 576 p. (in Russian)
2. Onischenko G.G., Kuzkin B.P., Ezhlova E.B. [et al.] The XXVII World Summer Universiade in Kazan. Ensuring sanitary and epidemiological well-being. Tver, Triada Publishing House, 2013, 527 p. (in Russian)
3. Onischenko G.G., Romanovich I.K., Patyashina M.A., Ziatdinov V.B., Gorskiy A.A., Stepanov V.S., Ismagilov R.K. Ensuring radiation safety at the XXVII World Summer Universiade in Kazan by Rospotrebnadzor bodies and organizations. Communication 1. Ensuring radiation safety at the preparatory phase. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene. 2013;6(3):5-12. (in Russian)
4. Romanovich I.K., Saprykin K.A. Radiation control during the construction of the Olympic facilities in Sochi city. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene. 2015;8(2):25-31. (in Russian)
5. Information Agency "RBC". For 10 years, more than 25 thousand people have been victims of terrorist attacks in the world. – Available on: <https://www.rbc.ru/society/27/06/2005/5703c4aa9a7947dde8e0c879> (Accessed: 21.05.2019) (in Russian)
6. Nuclear security systems and measures for major public events: implementing guide. IAEA nuclear security series, no. 18. Vienna: International Atomic Energy Agency; 2012, 56 p.
7. Ilyin L.A. [et al.] Medical aspects of countering radiological and nuclear terrorism. Moscow: Russian State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, 2018, 392 p. (in Russian)
8. Saprykin K.A. The current state of preparedness of the Rospotrebnadzor institutions for provision of the radiation safety for the 2018 World Football Championship. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene. 2018;11(2):98-104. (in Russian)
9. Saprykin K.A., Barkovsky A.N. Ensuring radiation safety during the preparation and holding of the 2018 FIFA World Cup. Proceedings of the international scientific and practical conference "Pressing issues of radiation hygiene". St.Petersburg, 2018, pp. 241–243.
10. Romanovich I.K. [et al.] Ensuring radiation safety and countering radiation terrorism during mass sports events. St.Petersburg, NIIRG after Professor P.V. Ramzaev, 2016, 364 p. (in Russian)
11. Onischenko G.G., Romanovich I.K., Patyashina M.A., Ziatdinov V.B., Barkovsky A.N., Gorskiy A.A., Stepanov V.S., Ismagilov R.K., Sharafutdinova A.L. Ensuring radiation safety at the XXVII World Summer Universiade in Kazan by Rospotrebnadzor bodies and organizations. Communication 2. Ensuring radiation safety during the universiade. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene. 2013;6(3):13-22. (in Russian)
12. Romanovich I.K., Barkovsky A.N., Bruk G.Ya., Ramzaev V.P., Gromov A.V., Saprykin K.A., Titov N.V., Yakovlev V.A. Activities of Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev for provision of radiation safety of XXII Winter Olympic and XI Winter Paralympics Games of 2014 in Sochi city. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene. 2014;7(2):5-14. (in Russian)
13. Romanovich I.K., Gorskiy A.A., Stepanov V.S. Ensuring radiation safety at the XXII Olympic Winter Games and the XI Paralympic Winter Games of 2014 in Sochi. Proceedings of the conference "Pressing issues of radiation hygiene". St.Petersburg, 2014, pp. 167–170.
14. Saprykin K.A., Barkovsky A.N., Romanovich I.K. Experience in using radiation monitoring systems to ensure radiation safety during the 2018 FIFA World Cup. Proceedings of the international scientific and practical conference "Pressing issues of radiation hygiene". St.Petersburg, 2018, pp. 243–245.

Received: May 16, 2019

For correspondence: 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 (Mira str., 8, St.-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: k.saprykin@niirg.ru)

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

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

For citation: Saprykin K.A., Gromov A.V., Ivanov S.A. Ensuring radiation safety at the FIFA World Cup 2018. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene, 2019, Vol. 12, No. 3, pp. 106-113. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-3-106-113

Ликвидация ядерного и радиационного наследия России: научное обеспечение радиационно-гигиенического нормирования

И.К. Романович

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

Для обеспечения радиационной безопасности населения при ликвидации ядерного и радиационного наследия страны в рамках ФЦП «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016–2020 годы и на период до 2030 года» разработаны проекты санитарных правил «Гигиенические требования к реабилитации объектов и территорий, загрязненных техногенными и природными радионуклидами в результате прошлой деятельности предприятий ядерной и неядерных отраслей промышленности» и три методических указания по обследованию реабилитированных участков территорий, зданий и сооружений и оценке доз населения, проживающего в зоне влияния объектов ядерного наследия. Основу санитарных правил составили направления дальнейшего использования реабилитированных участков территорий, зданий и сооружений и радиационно-гигиенические критерии их безопасности. Принято, что если реабилитируются площадки объектов использования атомной энергии (радиационных объектов), то к ним применяются дозовые критерии для населения с учетом квоты (0,3 мЗв/год). Если реабилитируются радиоактивно загрязненные участки территории, на которых уже проживает население, применяются требования Федерального закона от 15 мая 1991 г. № 1244-1 «О социальной защите граждан, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС». Первоначально указанные проекты документов разрабатывались с учетом запланированных к утверждению в 2019 г. новых НРБ-2019, гармонизированных с международными рекомендациями и стандартами. В свете принятия решения о продлении действия НРБ-99/2009 на 5 лет, проекты нормативно-методических документов по ликвидации ядерного наследия адаптированы к понятийному аппарату, используемому в НРБ-99/2009 и ОСПОРБ-99/2010.

Ключевые слова: объекты использования атомной энергии, радиационные объекты, ядерное наследие, радиационное наследие, реабилитация, дозы облучения, техногенные радионуклиды, природные радионуклиды.

Введение

Проблемы ликвидации ядерного наследия коснулись всех стран с развитой атомной энергетикой, обладающих ядерным оружием, подводным и надводным атомным флотом [1–6].

В Российской Федерации ликвидации ядерного наследия частично была посвящена федеральная целевая программа «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008–2015 годы» (ФЦП ЯРБ), а ФЦП «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016–2020 годы и на период до 2030 года» (ФЦП ЯРБ-2) практически полностью посвящена данной проблеме [7, 8].

В рамках реализации ФЦП ЯРБ-2 предусмотрена разработка и обоснование радиационно-гигиенических требований к реабилитации объектов и территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате прошлой деятельности», в виде одних санитарных правил и трех методических указаний.

В предыдущих публикациях нами представлены предложения по выбору радиационно-гигиенических критериев безопасности дезактивированных участков территории, зданий и сооружений; обоснования методологических и методических подходов к обследованию реабилитированных участков территорий; оценке доз облучения населения, проживающего в зоне влияния объектов ядерного и радиационного наследия [8–13]. Радиационно-гигиенические критерии безопасности дезактивированных участков территории, зданий и сооружений одобрены Российской научной комиссией по радиологической защите (РНКРЗ), на заседаниях которой данный вопрос обсуждался дважды [14, 15].

Следует отметить, что указанные нормативно-методические документы разрабатывались параллельно с проектом новых НРБ-2019, гармонизированных с международными рекомендациями. В этой связи в проекте санитарных правил «Гигиенические требования к реоби-

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@niir.ru

литации объектов и территорий, загрязненных техногенными и природными радионуклидами в результате прошлой деятельности предприятий ядерной и неядерных отраслей промышленности» были использованы международные подходы к нормированию и новые термины и определения, которые ранее не применялись в отечественных санитарных правилах.

Однако в связи с принятием решения о продлении на 5 лет действующих НРБ-99/2009 нами проведена работа по адаптации проектов нормативно-методических документов по обеспечению радиационной безопасности при ликвидации ядерного и радиационного наследия к требованиям действующих НРБ и ОСПОРБ.

Обоснование радиационно-гигиенических критериев безопасности дезактивированных участков территории, зданий и сооружений

Основу проекта санитарных правил «Гигиенические требования к реабилитации объектов и территорий, загрязненных техногенными и природными радионуклидами в результате прошлой деятельности предприятий ядерной и неядерных отраслей промышленности» составляют радиационно-гигиенические критерии безопасности дезактивированных участков территории, зданий и сооружений. Нами уже указывалось, что данные критерии дважды рассматривались на РНKP3 и после доработки были одобрены комиссией на заседании от 23 октября 2018 г. [14, 15].

Научной основой для разработки радиационно-гигиенических критериев безопасности дезактивированных участков территории, зданий и сооружений являются 103 Публикация МКРЗ [16], Международные основные нормы безопасности МАГАТЭ [17], Руководства МАГАТЭ № RS-G-1.7 и № WS-G-5.1 [18, 19], а также отечественные нормативно-методические документы в области обеспечения радиационной безопасности.

Принципиальным моментом при разработке радиационно-гигиенических критериев безопасности является вопрос, к какой ситуации отнести облучение населения, которое планируется к проживанию на реабилитированных участках территории после вывода из эксплуатации объекта использования атомной энергии (ОИАЭ), а к какой – облучение населения, которое уже проживает на радиоактивно загрязненной территории в зоне влияния ОИАЭ или после радиационной аварии.

В соответствии с международными рекомендациями [16–19] реабилитация площадок ОИАЭ – это завершающий этап процесса снятия с эксплуатации и одновременно завершающий этап практической деятельности объекта использования атомной энергии. На площадках ОИАЭ, планируемых к реабилитации, население не проживает. Проживание планируется только после проведения дезактивационных работ. Следовательно, облучение населения, которое будет проживать на реабилитированных площадках ОИАЭ, освобожденных от регулирующего контроля, относится к ситуации планируемого облучения, и на данную ситуацию распространяются дозовые пределы для населения. В соответствии с НРБ-99/2009 [20] данная ситуация облучения относится к облучению населения техногенными источниками излучения при нормальной эксплуатации радиационного объекта и на которую распространяются дозовые пределы для населения.

Вторым важным моментом в установлении радиационно-гигиенических критериев безопасности для реабилитированных площадок ОИАЭ является планируемый вид и направления их использования. Нами в предыдущих публикациях [11, 12] подробно изложены сценарии планируемого использования реабилитированных площадок ОИАЭ и их обоснование. К ним относятся:

- неограниченное по радиационному фактору использование реабилитированных площадок, предусматривающее постоянное проживание на загрязненной территории и неограниченное сельскохозяйственное использование земли, включающее производство и потребление продукции растениеводства и животноводства;
- ограниченное по радиационному фактору использование реабилитированных площадок, предусматривающее ограничение на сельскохозяйственное использование земли, или использование только в производственных целях, или ограничение по времени пребывания.

С учётом дозовой квоты для реабилитированных площадок ОИАЭ предложены следующие критерии:

- эффективная доза ниже 300 мкЗв/год для члена критической группы при неограниченном использовании;
- эффективная доза ниже 300 мкЗв/год для члена критической группы при ограниченном использовании с учётом введённых ограничений и, если в будущем ограничения действовать перестанут, эффективная доза ниже 1 мЗв/год.

Однако имеются ситуации, когда население уже проживает на радиоактивно загрязненной территории на тот момент, когда требуется принять решение о снижении доз облучения, о реабилитации загрязненной территории, т.е. население уже облучается. К примеру: населённые пункты вблизи площадок ОИАЭ, в том числе отвалов уранового производства; населённые пункты на территориях, загрязнённых после аварий на ОИАЭ (после аварии на Чернобыльской АЭС, радиационных аварий на Южном Урале, после санкционированных сбросов жидких радиоактивных отходов с ПО «Маяк» в реку Теча; площадки, остаточное радиоактивное загрязнение которых обусловлено прошлой деятельностью, которая не подлежала регулирующему контролю (площадки, хвостохранилища и отвалы добычи и переработки полезных ископаемых)). Такая ситуация облучения в международных документах называется ситуацией существующего облучения, и к этой ситуации применимы понятия меры вмешательства по ограничению облучения населения, в том числе и дезактивация территории. Для предотвращения необоснованного облучения населения в ситуации существующего облучения устанавливаются референтные уровни в виде годовой эффективной дозы для репрезентативного лица (критической группы населения) в диапазоне 1–20 мЗв. При превышении референтных уровней предпринимаются все разумные меры защиты населения (вмешательства) на основе принципа оптимизации.

В действующих на данный момент Нормах радиационной безопасности (НРБ-99/2009) понятия «Ситуация существующего облучения» и «Референтные уровни» не используются. Облучение населения, проживающего на радиоактивно загрязненной территории в нашей стране регулируется Федеральным законом от 15 мая 1991 г. № 1244-1 «О социальной защите граждан, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на

Чернобыльской АЭС». Статьей 6 указанного закона установлено: «Является допустимым и не требующим каких-либо вмешательств дополнительное превышение (над уровнем естественного и техногенного радиационного фона для данной местности) облучения населения от радиоактивных выпадений в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС, образующее в 1991 году и в последующие годы среднегодовую эффективную дозу, не превышающую 1 мЗв».

Направления использования и показатели радиационной безопасности участков территории, зданий и сооружений, дезактивированных после загрязнения природными радионуклидами, за исключением площадок предприятий ядерного топливного цикла, должны соответствовать требованиям, установленным в НРБ-99/2009 [20], ОСПОРБ-99/2010 [21] и СанПиН 2.6.1.2800-10 [22].

В соответствии с НРБ-99/2009 [20] для населения допустимое значение эффективной дозы, обусловленной суммарным воздействием природных источников излучения, не устанавливается. Снижение облучения населения достигается путем установления системы ограничений на облучение населения от отдельных природных источников излучения. Следовательно, площадки, загрязненные природными радионуклидами и планируемые для неограниченного использования, в том числе для строительства новых и/или использования существующих зданий и сооружений любого назначения, после завершения дезактивации должны соответствовать требованиям, предъявляемым НРБ-99/2009 [20], ОСПОРБ-99/2010 [21] и СанПиН 2.6.1.2800-10 [22] к эксплуатируемым жилым и общественным зданиям.

Эти же требования должны предъявляться при реабилитации населенных пунктов, загрязненных природными радионуклидами в результате деятельности предприятий неядерных отраслей промышленности.

Площадки, загрязненные природными радионуклидами и планируемые 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, после проведения дезактивации должны соответствовать требованиям, предъявляемым к зданиям и сооружениям производственного назначения.

К требованиям, установленным для неограниченного и ограниченного использования площадок, реабилитированных после загрязнения природными радионуклидами, нами установлен дополнительный критерий – это содержание природных радионуклидов в воде открытых водоемов и наблюдательных скважин на реабилитированной площадке. Концентрация радионуклидов в указанных источниках воды не должна превышать 10 уровней вмешательства (УВ) для отдельных радионуклидов в питьевой воде, приведенных в приложении 2а НРБ-99/2009.

Оценка соответствия реабилитированных участков территории, зданий и сооружений радиационно-гигиеническим критериям

Для оценки соответствия реабилитированных участков территории, зданий и сооружений радиационно-гигиеническим критериям, предусмотренным в проекте санитарных правил, разработаны проекты трех методических указаний:

- организация и проведение радиационного обследования объектов и территорий, загрязненных техногенными радионуклидами в результате прошлой деятельности предприятий ядерной отрасли, после окончания их реабилитации;

- организация и проведение радиационного обследования объектов и территорий, загрязненных природными радионуклидами в результате прошлой деятельности предприятий неядерных отраслей промышленности;

- оценка доз облучения населения за счет объектов и территорий, загрязненных техногенными и природными радионуклидами в результате прошлой деятельности предприятий ядерной и неядерных отраслей промышленности.

Методические указания подготовлены с учетом международных рекомендаций, предшествующего опыта выполнения реабилитационных работ на радиационных объектах, включая опыт организации и проведения радиационного обследования объектов до реабилитации, в процессе их выполнения и заключительного радиационного обследования. При разработке проекта методических указаний учтены особенности выводимых из эксплуатации радиационных объектов и данные научных публикаций, указывающие на высокий риск невыявления скрытого остаточного радиоактивного загрязнения. На основе анализа перечня радионуклидов, присутствующих в радиоактивном загрязнении на различных радиационных объектах, предложен оптимальный перечень радионуклидов для обязательного радиационного контроля при обследовании реабилитированных радиационных объектов.

Радиационно-гигиенические критерии безопасности реабилитированных участков территории, зданий и сооружений установлены в виде дозы облучения. Для оценки доз облучения населения, проживающего в зоне влияния радиационного объекта или на радиоактивно загрязненных участках территории, или при планируемом проживании на реабилитированных участках территории, нами предложены два метода. Первый, или классический метод, для оценки доз облучения различных групп населения изложен в целом ряде методических документов (проживающих в зоне наблюдения радиационных объектов – МР 2.6.1.0063-12, МУ 2.6.1.2153-06; на радиоактивно загрязненных территориях – МУ 2.6.1.2003-05, МР 2.6.1.0007-10; облучающихся в повышенных дозах природными радионуклидами – МУ 2.6.1.2397-08, МУ 2.6.1.1088-02). Для оценки доз необходимо получить фактические данные по всем возможным путям и факторам радиационной обстановки на обследуемом участке. Данный метод оценки доз представлен в разработанном нами проекте методических указаний. Однако данный метод имеет некоторые ограничения в применении. Так, на реабилитированной территории, сразу после окончания реабилитационных работ, зачастую будут отсутствовать многие объекты внешней среды, необходимые для исследования и дальнейшей оценки доз. С этой целью нами предложен второй метод оценки соответствия реабилитированных территорий установленным критериям. Нами на основе моделей оценены уровни остаточного радиоактивного загрязнения грунтов отдельными радионуклидами для различных сценариев планируемого использования реабилитированных участков территории, зданий

и сооружений, при которых доза облучения не превысит установленный критерий в 0,3 мЗв/год [11]. В этом случае проведение заключительного радиационно-гигиенического обследования реабилитированных участков территории, зданий и сооружений будет сводиться к определению остаточной удельной активности радионуклидов в исследуемых средах. Если содержание радионуклидов во всех отобранных пробах ниже установленных для определенного сценария использования реабилитированного объекта, то такой участок территории, здание или сооружение соответствуют установленным требованиям.

Заключение

Для обеспечения работ по ликвидации ядерного и радиационного наследия страны в рамках ФЦП «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016–2020 годы и на период до 2030 года» разработаны проекты санитарных правил «Гигиенические требования к реабилитации объектов и территорий, загрязненных техногенными и природными радионуклидами в результате прошлой деятельности предприятий ядерной и неядерных отраслей промышленности» и три методических указания по обследованию реабилитированных участков территорий, зданий и сооружений и оценке доз населения, проживающего в зоне влияния объектов ядерного наследия.

Данные проекты документов разрабатывались с учетом запланированных к утверждению в 2019 г. гармонизированных с международными рекомендациями и стандартами НРБ-2019. В свете принятия решения о продлении действия НРБ-99/2009 на 5 лет проекты нормативно-методических документов по ликвидации ядерного наследия адаптированы к понятийному аппарату, используемому в НРБ-99/2009 и ОСПОРБ-99/2010.

Литература

1. Ликвидация ядерного наследия: 2008-2015 годы / Под общей редакцией А.А. Абрамова, О.В. Крюкова, Линге И.И. – Москва, 2015. – 182 с.
2. Цебаковская, Н.С. Лучшие зарубежные практики вывода из эксплуатации ядерных установок и реабилитации загрязненных территорий / Н.С. Цебаковская, С.С. Уткин, А.Ю. Иванов, В.К. Сахаров, К.Е. Полунин; под общ. ред. И.И. Линге и А.А. Абрамова. – М., 2017. – Том 1. – 336 с.
3. Цебаковская, Н.С. Лучшие зарубежные практики вывода из эксплуатации ядерных установок и реабилитации загрязненных территорий / Н.С. Цебаковская, С.С. Уткин, А.Ю. Иванов, В.К. Сахаров, К.Е. Полунин; под общ. ред. И.И. Линге и А.А. Абрамова. – М., 2017. – Том 2. – 188 с.
4. Абрамов, А.А. Ликвидация ядерного наследия в континентальной части России как условие радиационного благополучия Арктики / А.А. Абрамов, О.В. Крюков, А.Ю. Иванов, И.И. Линге // Арктика: экология и экономика. – 2017. – № 4 (28). – С. 49-58.
5. Большов, Л.А. Практика и задачи научного обеспечения работ по ядерному наследию / Л.А. Большов, И.И. Линге, А.А. Саркисов, С.С. Уткин // Атомная энергия. – 2016. – Т. 120, № 4. – С. 201-207.
6. Абрамов, А.А. Проблемы ядерного наследия и пути их решения / А.А. Абрамов, А.Н. Дорофеев, Е.А. Комаров, И.И. Линге [и др.]; под общ. ред. Л.А. Большова, Н.П. Лаверова, И.И. Линге. – М., 2015. – Том 3: Вывод из эксплуатации. – 316 с.
7. Крюков, О.В. Реализация мероприятий ФЦП ЯРБ по ликвидации наследия / О.В. Крюков, А.А. Абрамов, А.А. Тихонова, А.Н. Дорофеев, К.В. Иванов, Е.А. Комаров [и др.] // Ликвидация ядерного наследия: 2008-2015 годы. – М., 2015. – С. 50-132.
8. 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.
9. Романович, И.К. Научное обоснование подходов к организации и проведению радиационного обследования реабилитированных радиационных объектов // Радиационная гигиена. – 2017. – Т. 10, № 3. – С. 90-102. DOI: 10.21514/1998-426X-2017-10-3-90-102.
10. Романович, И.К. 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 // Радиационная гигиена. – 2018. – Т. 11, № 3. – С. 7-21.
11. 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.
12. Романович, И.К. Ликвидация ядерного наследия: радиационно-гигиенические критерии безопасности дезактивированных участков территории, зданий и сооружений // Здоровье населения и среда обитания. – 2018. – № 4 (301). – С. 21-26.
13. Романович, И.К. Обоснование методологических и методических подходов к оценке доз облучения населения, проживающего в зоне влияния объектов ядерного и радиационного наследия / И.К. Романович, Т.А. Кормановская, Н.А. Королева, К.А. Сапрыкин // Радиационная гигиена. – 2019. – Т. 12, № 2. – С. 34-43.
14. Заключение Российской научной комиссии по радиологической защите по докладу И.К. Романовича «Ликвидация ядерного наследия: направления использования и критерии радиационной безопасности реабилитированных участков территории, зданий и сооружений» / Радиация и риск. – 2018. – Том 27, № 3. – С. 5-8.
15. Заключение Российской научной комиссии по радиологической защите по результатам открытого заседания 23 октября 2018 г. / Радиация и риск. – 2018. – Том 27, № 4. – С. 5-7.
16. 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.
17. Радиационная защита и безопасность источников излучения: Международные основные нормы безопасности GSR Part 3. МАГАТЭ, Вена, 2015. – 518 с.
18. Серия Норм МАГАТЭ по безопасности «Применение концепций исключения, изъятия и освобождения от контроля». Руководство № RS-G-1.7. Вена, 2006. – 31 с.
19. Серия Норм МАГАТЭ по безопасности «Освобождение площадок от регулирующего контроля после завершения практической деятельности». Руководство № WS-G-5.1. Вена, 2008. – 42 с.
20. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы (СанПиН 2.6.1.2523-09): утв. и введены в действие от 07.08.2009 г. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 100 с.
21. Санитарные правила и нормативы СП 2.6.1.2612-10. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010): (утв. Постановлением Главного государственного сани-

тарного врача Российской Федерации от 26 апреля 2010 г. № 40): зарегистрированы 11 августа 2010 г. Регистрационный № 18115. – М.: Минюст России, 2010. – 82 с.

22. Санитарные правила и нормы СанПиН 2.6.1.2800-10. «Гигиенические требования по ограничению облучения

населения за счет природных источников ионизирующего излучения»: утв. и введены в действие от с 24.12.2010 г. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2010. – 40 с.

Поступила: 15.08.2019 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. Тел.: 8(812)233-53-63; E-mail: I.Romanovich@niirg.ru

Для цитирования: Романович И.К. Ликвидация ядерного и радиационного наследия России: научное обеспечение радиационно-гигиенического нормирования // Радиационная гигиена. – 2019. – Т.12, № 3. – С.-114-119. DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-3-114-119

Termination of the nuclear and radiation legacy of Russia: scientific basis for the radiation-hygienic regulation

Ivan K. Romanovich

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 the provision of the radiation safety of the public during the termination of the nuclear and radiation legacy within the boundaries of the Federal Targeted Program "Provision of the nuclear and radiation safety for 2016-2020 and up to 2030", the following documents were developed: draft of the sanitary rules "Hygienic requirements for the remediation of the facilities and territories contaminated by man-made and natural radionuclides due to the past activities of the facilities of nuclear and non-nuclear branches of industry" and three methodical guidelines on the survey of the remediated territories, buildings and structures and assessment of the doses of the public residing in the zone of influence of the nuclear legacy facilities. The sanitary rules were based on the directions of the future use of the remediated territories, buildings and structures as well as on the radiation-hygienic safety criteria. It was assumed that dose criteria for the public considering the quota (0.3 mSv/year) is applied for remediated sites of the nuclear facilities (radiation facilities). The remediation of the radioactively contaminated areas with the residing public is based on the requirements of the Federal Law № 1244-1, 15.05.1991 "On the social protection of the citizens exposed due to the Chernobyl NPP accident". Originally the drafts of documents were developed considering the approval in 2019 of the new Norms of the Radiation Safety – 2019, harmonized with the international recommendations and standards. Due to prolongation of the existing Norms of the Radiation Safety 99/2009 for the extra five years, the drafts of the regulations are adapted to the existing NRB 99/2009 and OSPORB 99/2010.

Key words: nuclear facilities, radiation facilities, nuclear legacy, radiation legacy, remediation, doses, man-made radionuclides, natural radionuclides.

References

1. Termination of the nuclear legacy: 2008-2015. Ed. By A.A. Abramov, O.V. Kryukov, I.I. Linge. Moscow, 2015, 182 p. (In Russian)
2. Tsebakovskaya N.S., Utkin S.S., Ivanov A.Yu., Sakharov V.K., Polunin K.E. Best foreign practices of decommissioning of the nuclear sites and remediation of the contaminated territories. Ed. By I.I. Linge and A.A. Abramov. Moscow, 2017, Vol. 1, 336 p. (In Russian)
3. Tsebakovskaya N.S., Utkin S.S., Ivanov A.Yu., Sakharov V.K., Polunin K.E. Best foreign practices of decommissioning of the nuclear sites and remediation of the contaminated territories. Ed. By I.I. Linge and A.A. Abramov. Moscow, 2017, Vol. 2, 188 p. (In Russian)

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

4. Abramov A.A., Kryukov O.V., Ivanov A.Yu., Linge I.I. Termination of the nuclear legacy in the continental part of Russia as a condition of the radiation well-being of Arctic. *Arktika: ekologiya i ekonomika* = Arctic: ecology and economy, 2017, No. 4(28), pp. 49-58 (In Russian)
5. Bolshov L.A., Linge I.I., Sarkisov A.A., Utkin S.S. Practice and objectives of the scientific provision of the nuclear legacy actions. *Atomnaya energiya* = Atomic energy, 2016, Vol. 120, No. 4, pp. 201-207 (In Russian)
6. Abramov A.A., Dorofeev A.N., Komarov E.A., Linge I.I. [et. al.] Problems of the nuclear legacy and their solutions. Ed. By L.A. Bolshov, N.P. Laverov, I.I. Linge. Vol. 3: Decommissioning, Moscow, 2015, 316 p. (In Russian)
7. Kryukov O.V., Abramov A.A., Tikhonova A.A., Dorofeev A.N., Ivanov K.V., Komarov E.A. [et. al.] Implementation of the FCP YaRB actions on the termination of the legacy. Termination of the nuclear legacy: 2008-2015, Moscow, 2015, pp. 50-132 (In Russian)
8. 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>
9. 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) <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2017-10-3-90-102>
10. 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;11(3):7-21. (In Russian) <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2018-11-3-7-21>
11. 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>
12. Romanovich I.K. Liquidation of the nuclear legacy: radiation hygienic safety criteria for the decontaminated sites of territories, buildings and constructions. *Zdorovie naseleniya i sreda obitaniya* = Public health and habitat, 2018, No. 4 (301), pp. 21-26 (In Russian)
13. Romanovich I.K., Kormanovskaya T.A., Koroleva N.A., Saprykin K.A. Justification of the methodical approaches to the assessment of the doses of the public residing in the zone of influence of the facilities of the nuclear and radiation legacy. *Radiatsionnaya Gygiena* = Radiation Hygiene. 2019;12(2):34-43. (In Russian) <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2019-12-2-34-43>
14. Conclusion of the Russian scientific commission on radiological protection on the report of I.K. Romanovich «Termination of the nuclear legacy: directions of use and criteria of the radiation safety of the remediated territories, buildings and constructions». *Radiatsiya i risk* = Radiation and risk, 2018, Vol. 27, No. 3, pp. 5-8 (In Russian)
15. Conclusion of the Russian scientific commission on radiological protection on the results of the open meeting 23.10.2018. *Radiatsiya i risk* = Radiation and risk, 2018, Vol. 27, No. 4, pp. 5-7 (In Russian)
16. 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)
17. International Atomic Energy Agency. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. GSR Part 3. Vienna: IAEA, 2015, 518 p. (In Russian)
18. IAEA Safety standards series. Application of the concepts of Exclusion, Exemption and Clearance. RS-G-1.7 Vienna, 2006, 31 p. (In Russian)
19. IAEA Safety standards series. Release of Sited from regulatory control on termination of practices WS-G-5.1. Vienna, 2008, 42 p. (In Russian)
20. Sanitary Norms and Regulations SanPiN 2.6.1.2523-09 «Norms of Radiation Safety (NRB-99/2009)» approved by the Resolution of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation of 07.07.2009 No. 47 (registered by the Ministry of Justice of Russia dated 14.08.2009 registration No. 14534). Moscow, 2009, 100 p.
21. SP 2.6.1.2612-10 «Basic sanitary rules of the provision of the radiation safety (OSPORB 99/2010)». Moscow, 2010, 82 p.
22. Sanitary Rules and Norms SanPiN 2.6.1.2800-10 «Hygienic requirements on the limitation of the exposure of the public from natural sources of ionizing exposure». Approved 24.10.2010. Moscow, Federal center of hygiene and epidemiology of Rospotrebnadzor, 2010, 40 p.

Received: August 15, 2019

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)

For citation: Romanovich I.K. Termination of the nuclear and radiation legacy of Russia: scientific basis for the radiation-hygienic regulation. *Radiatsionnaya Gygiena* = Radiation Hygiene, 2019, Vol.12, No 3, pp. 114–119 (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-3-114-119

Дополнения и изменения в оценке эффективных доз внешнего облучения пациентов при медицинских исследованиях

В.Ю. Голиков, Л.А. Чипига, А.В. Водоватов, С.С. Сарычева

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 данной работе обоснованы и представлены изменения и дополнения, планируемые к введению в новую редакцию Методических указаний «Контроль эффективных доз облучения пациентов при проведении медицинских рентгенологических исследований» (МУ 2.6.1.2944-11). Приведены как измененные в связи с появившимися новыми данными расчеты и экспериментов значения коэффициентов перехода от измеряемых на практике дозиметрических характеристик (входная доза, произведение дозы на площадь) к эффективной дозе, так и новые значения коэффициентов перехода для ряда медицинских исследований пациентов. Определение новых значений коэффициентов перехода было основано как на собственных расчетных и экспериментальных исследованиях, согласно протоколам проведения процедур, так и на опубликованных литературных данных. Были изменены значения коэффициентов перехода от измеряемых на практике значений к эффективной дозе для следующих видов медицинских исследований: рентгеноскопических исследований желудочно-кишечного тракта с контрастом для взрослых и детей; интервенционных исследований взрослых пациентов; компьютерно-томографических исследований для взрослых и детей; денальных внутривитовых исследований. Впервые обсуждаются и приводятся значения коэффициентов перехода для следующих видов медицинских исследований: компьютерно-томографического сканирования всего тела, конечностей и других зон, включающих несколько анатомических областей; ангиографических исследований сосудов сердца у детей различного возраста; рентгенографических исследований с помощью сканирующего щелевого пучка излучения; костной денситометрии.

Ключевые слова: медицинские рентгенологические исследования, пациенты, эффективная доза, коэффициенты перехода.

Введение

Введенная в действие в 2011 г. и используемая до настоящего времени третья редакция Методических указаний МУ 2.6.1.2944-11 «Контроль эффективных доз облучения пациентов при проведении медицинских рентгенологических исследований»¹ к настоящему времени не охватывает целый ряд вновь накопившихся вопросов медицинской практики, связанных с оценкой доз пациентов в рентгеновской диагностике.

Цель исследования – обоснование и представление измененных и новых значений коэффициентов перехода (КП) от измеряемых дозиметрических характеристик (входная доза, произведение дозы на площадь) к эффективной дозе для ряда исследований педиатрических и взрослых пациентов. Эти изменения существующих зна-

чений КП и оценка новых значений основаны на результатах собственных экспериментальных исследований, модельных расчетов и данных, опубликованных в литературе. Эти значения КП планируются к введению в новую редакцию МУ 2.6.1.2944-11.

Внедрение представленных здесь значений КП в практику отечественной рентгенологии расширит выполнение требований закона № 3-ФЗ и НРБ-99/2009 в отношении оценок доз пациентов при использовании ионизирующего излучения в медицинских целях.

Методика оценки эффективной дозы

Напомним, что в качестве исходных данных для оценки эффективной дозы у пациентов используют как непосредственно измеряемые в ходе проведения рентгено-

¹ МУ 2.6.1.2944-11. Контроль эффективных доз облучения пациентов при медицинских рентгенологических исследованиях. М.: Роспотребнадзор, 2011. 40 с. [Methodical guidelines 2.6.1.2944-11 "Control of the patient effective doses from medical X-ray examinations". Moscow, Rospotrebnadzor, 2011, 40 p.]

Голиков Владислав Юрьевич

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

Адрес для переписки: 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: sg235@rambler.ru

радиологического исследования, так и дополнительные физико-технические параметры:

- при проведении рентгенодиагностических исследований общего назначения, интервенционных исследований, стоматологических исследований, маммографии, костной денситометрии:
 - R – радиационный выход рентгеновского излучателя, $(\text{мГр} \times \text{м}^2)/(\text{мА} \times \text{с})$;
 - значение мАс процедуры (исследования);
 - произведение дозы на площадь (Φ) , $\text{сГр} \times \text{см}^2$;
- при проведении рентгеновской компьютерной томографии:
 - объемный взвешенный компьютерно-томографический индекс дозы $CTDI_i$ (мГр);
 - произведение дозы на длину сканирования при выполнении i -го сканирования $DLP_i = CTDI_{vol} \cdot L_i$, мГр-см, где L_i – длина i -й области сканирования.

В качестве дополнительной исходной информации используют:

- физико-технические измеряемые параметры, определяющие характеристики поля рентгеновского излучения во время проведения рентгенологической процедуры:
 - значение высокого напряжения на рентгеновской трубке (кВ);
 - толщину и материал дополнительного фильтра (мм Al, мм Cu);
- геометрические параметры рентгенологического исследования:
 - область исследования (легкие, череп, и т.п.);
 - вид проекции (прямая – передне-задняя или задне-передняя, боковая);
 - размеры поля облучения на приемнике изображения;
 - фокусное расстояние (расстояние от фокуса рентгеновской трубки до приемника изображения).

Значение эффективной дозы E оценивают с использованием коэффициентов перехода от измеряемых на практике величин с помощью выражений (МУ 2.6.1. 2944-11):

$$E = R \cdot i \cdot t \cdot K_e \text{ или } E = \Phi \cdot K_g(1)$$

где: i – ток рентгеновской трубки в мА; t – время проведения исследования в с; K_e – дозовый коэффициент перехода от значения радиационного выхода рентгеновского излучателя к эффективной дозе облучения пациента данного возраста с учетом вида проведенного рентгенологического исследования, проекции, размеров поля, фокусного расстояния и анодного напряжения на рентгеновской трубке, $\text{мкЗв}/(\text{мГр} \times \text{м}^2)$; K_g – дозовый коэффициент перехода от значения произведения дозы на площадь к эффективной дозе у пациента данного возраста с учетом вида проведенного рентгенологического исследования, проекции, размеров поля, фокусного расстояния и анодного напряжения на рентгеновской трубке, $\text{мкЗв}/(\text{сГр} \times \text{см}^2)$.

Для КТ-исследований эффективная доза является производным расчетным параметром от значения DLP . Для расчета эффективной дозы используется выражение:

$$E = \sum_i DLP_i \cdot e_{DLP}^i, \text{ мЗв (2)}$$

где: DLP_i – произведение дозы на длину за i -е сканирование (индицируется на консоли томографа), мГр-см; e_{DLP}^i – дозовый коэффициент для i -й анатомической области, $\text{мЗв}/(\text{мГр} \cdot \text{см})$.

Ниже представлены измененные и новые значения КП для ряда медицинских диагностических технологий.

Рентгеноскопические исследования

Рентгеноскопические исследования желудочно-кишечного тракта с бариевым контрастированием широко распространены и выполняются практически в каждом медицинском учреждении. К наиболее распространенным исследованиям относятся:

- рентгеноскопия пищевода;
- рентгеноскопия желудка;
- рентгеноскопия кишечника (ирригоскопия).

Оценка доз пациентов при выполнении рентгеноскопических исследований затруднена по следующим причинам:

- в рамках одного исследования используются различные геометрии облучения пациента (прямая, боковая, косая проекции);
- исследование включает в себя как собственно просвечивание (рентгеноскопию пациента), так и рентгеновские снимки;
- рентгеноскопические исследования не являются стандартизованными, т.е. точное расположение области исследования, размер поля облучения, время просвечивания и количество этапов исследования определяются исключительно состоянием и диагнозом пациента, а также квалификацией и опытом работы персонала, выполняющего исследование;
- как правило, в рамках исследования одного органа (например, желудка) одновременно проводятся исследования и сопутствующих органов (пищевод, тонкий кишечник).

Использование существующих значений КП из МУ 2944-11 на практике ограничено, т.к. они представлены для одного размера поля и одной проекции (задне-передней), а также для узкого диапазона напряжений на трубке. Данные условия облучения пациента были актуальны для устаревших протоколов проведения исследований и рентгеноскопических аппаратов, у которых рентгеновский излучатель находился под декой стола, а приемник изображения – над столом. В настоящее время более 70% аппаратов для проведения рентгеноскопий оснащены телеуправляемыми столами-штативами с расположением рентгеновской трубки над столом, а приемником излучения под столом.

Расчет КП для рентгеноскопии пищевода, желудка и толстого кишечника для взрослых пациентов был выполнен с использованием программного обеспечения РСХМС 2.0 [1]. Для этого были разработаны модели облучения пациентов при проведении типовых рентгеноскопических исследований, основанные на сборе данных в медицинских организациях г. Санкт-Петербурга в период 2015–2019 гг. Детальная методика расчета значений КП от произведения дозы на площадь к эффективной дозе для взрослых пациентов представлена в работе [2]. При этом КП для всех типов исследований были определены как для рентгеновских аппаратов с расположением трубки над столом, так и для аппаратов с расположением трубки под столом (табл. 1). Коэффициенты перехода для детей различных возрастных групп были оценены по литературным данным [3–6] (табл. 2).

Таблица 1

Значения дозовых коэффициентов перехода от измеренного значения ПДП к эффективной дозе для взрослых пациентов для рентгеноскопических исследований пищевода, желудка и толстого кишечника

[Table 1]

Conversion coefficients from measured DAP to effective dose for adult patients for barium swallow, barium meal and barium enema examinations]

Вид исследования [Type of examination]	K_d , мЗв/(Гр×см ²) [K_d , mSv/(Gy×cm ²)]		Размер поля, см×см [Field size, cm×cm]
	Расположение рентгеновской трубки над столом [Over couch X-ray tube]	Расположение рентгеновской трубки под столом [Under couch X-ray tube]	
Рентгеноскопия пищевода [Barium swallow]	2,3	1,7	28×28
Рентгеноскопия желудка и двенадцатиперстной кишки [Barium meal]	2,4	2,0	28×28
	3,8	2,5	15×40
Рентгеноскопия толстого кишечника [Barium enema]	2,6	2,1	28×28

Коэффициенты перехода определены для анодного напряжения 90 кВ.
[Conversion coefficients are established for the 90 kV tube voltage]

Таблица 2

Значения дозовых коэффициентов перехода от измеренного значения ПДП к эффективной дозе для детей для рентгеноскопических исследований пищевода, желудка и толстого кишечника

[Table 2]

Conversion coefficients from measured DAP to effective dose for pediatric patients for barium swallow, barium meal and barium enema examinations]

Вид исследования [Type of examination]	Возрастная группа, год [Age group, year]				
	0–0,5	0,5–2	2–7	7–12	12–17
	K_d , мЗв/(Гр×см ²) [K_d , mSv/(Gy×cm ²)]				
Рентгеноскопия пищевода [Barium swallow]	—*	—	5,9	4,5	3,1
Рентгеноскопия желудка и двенадцатиперстной кишки [Barium meal]	27,7	14,1	6,6	4,8	3,5
Рентгеноскопия толстого кишечника [Barium enema]	—	—	5,3	4,3	3,1

*Для данной возрастной категории следует использовать значение КП для рентгеноскопии желудка.
[*The corresponding conversion coefficient for barium meal examination should be used for that age group]

Следует отметить, что особенности проведения рентгеноскопических исследований (изменение напряжения и анодного тока в режиме реального времени) не позволяют производить достоверную оценку эффективной дозы на основе радиационного выхода рентгеновского аппарата. Необходимость оснащения всех рентгеноско-

пических аппаратов клиническими дозиметрами (проходными ионизационными камерами) указана в п. 3.2.5 СанПиН 2.6.1.2891-11 «Требования радиационной безопасности при производстве, эксплуатации и выводе из эксплуатации (утилизации) медицинской техники, содержащей источники ионизирующего излучения»².

² СанПиН 2.6.1.2891-11 «Требования радиационной безопасности при производстве, эксплуатации и выводе из эксплуатации (утилизации) медицинской техники, содержащей источники ионизирующего излучения». Онлайн-ресурс: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_120132/ (Дата обращения: 14.05.2019) [SanPIN 2.6.1.2891-11 "Requirements on the radiation safety for the production, use and decommissioning of the medical equipment with sources of ionizing exposure". – Available on: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_120132/ (Accessed: 14.05.2019)]

Компьютерно-томографические исследования

Значения e_{DLP}^i и дополнительные множители для детей, представленные в МУ 2.6.1.2944-11, основаны на литературных данных конца 1990-х гг. [7]. При их определении использованы расчеты методом Монте-Карло, проведенные с устаревшими математическими моделями тела человека MIRD-5 [8]. Более того, существующие значения КП из МУ 2.6.1.2944-11 не в полной мере учитывают специфику современных протоколов КТ-исследований.

В работах Deak и др. [9], Huda и др. [10] и Shrimpton и др. [11] на основе современных параметров проведения КТ-исследований были рассчитаны методом Монте-Карло новые значения КП для оценки эффективных доз. Также к настоящему времени разработано множество специализированных компьютерных программ для оценки органических и эффективной дозы у пациентов при проведении КТ-исследований (CT-Expo [12], VirtualDoseCT

[13], NCICT [14], XCATdose [15]). Эти программы позволяют рассчитывать органические дозы при КТ-исследовании, основываясь на параметрах протокола сканирования и учитывая при выполнении расчета специфику модели томографа. В качестве модели тела пациента различного возраста используют различные специфические математические и воксельные фантомы, позволяющие оценивать индивидуализированные дозы [16].

В результате анализа вышеупомянутых современных расчетных данных и результатов собственных фантомных измерений органических доз при проведении КТ-исследований [17] был получен расширенный и уточненный набор значений дозовых коэффициентов e_{DLP}^i , соответствующих современным протоколам и методикам проведения КТ-исследований в России (табл. 3). Коэффициенты перехода предложены для стандартных дозиметрических фантомов диаметрами 16 и 32 см.

Таблица 3

Значения дозовых коэффициентов перехода e_{DLP}^i , мЗв/(мГр·см) в зависимости от области КТ-исследования и возраста пациента

[Table 3]

The corresponding conversion coefficients, e_{DLP}^i , mSv/(mGy·cm) for different anatomic areas of CT examinations and age groups

Область исследования [Anatomic area]	Возрастная группа, лет [Age group, year]					
	0–0,5	0,5–2	2–7	7–12	12–17	> 17
Фантом 16 см [16 cm phantom]						
Голова [Head]	0,0059	0,0048	0,0035	0,0027	0,0018	0,0014
Шея [Neck]	0,022	0,018	0,013	0,011	0,0073	0,0060
Голова/шея [Head/Neck]	0,0078	0,0066	0,0051	0,0043	0,0030	0,0025
Грудная клетка [Chest]	0,026	0,020	0,014	0,011	0,0069	–
Брюшная полость [Abdomen]	0,031	0,024	0,017	0,013	0,0079	–
Таз [Pelvis]	0,034	0,027	0,019	0,014	0,0087	–
Нижние конечности [Extremities]	0,0015	0,00099	0,00055	0,00036	0,00016	–
Грудная клетка /брюшная полость [Chest/Abdomen]	0,028	0,022	0,016	0,012	0,0073	–
Брюшная полость/таз [Abdomen/Pelvis]	0,032	0,026	0,018	0,014	0,0083	–
Грудная клетка/брюшная полость/таз [Chest/ Abdomen/Pelvis]	0,030	0,024	0,017	0,013	0,0078	–
Все тело [Whole body]	0,019	0,016	0,013	0,012	0,0087	–
Фантом 32 см [32 cm phantom]						
Грудная клетка [Chest]	0,059	0,047	0,033	0,026	0,016	0,012
Брюшная полость [Abdomen]	0,072	0,056	0,039	0,030	0,018	0,014
Таз [Pelvis]	0,077	0,060	0,042	0,033	0,020	0,015
Нижние конечности [Extremities]	0,0027	0,0018	0,0010	0,00068	0,00030	0,00020
Грудная клетка /брюшная полость [Chest/Abdomen]	0,065	0,051	0,036	0,028	0,017	0,013
Брюшная полость/таз [Abdomen/Pelvis]	0,075	0,059	0,041	0,031	0,019	0,015
Грудная клетка /брюшная полость/таз [Chest/ Abdomen/Pelvis]	0,069	0,054	0,038	0,029	0,018	0,014
Все тело [Whole body]	0,043	0,038	0,031	0,027	0,020	0,017

Интервенционные исследования

К интервенционным исследованиям относят рентгенологические исследования, характеризующиеся сложностью проведения или введением в организм дополнительных веществ и приспособлений. Как правило, это хирургические вмешательства с использованием специальных инструментов и рентгеновской визуализации. Эти исследования можно подразделить на два класса: диагностические и терапевтические.

По сравнению с другими рентгенологическими исследованиями интервенционные исследования характеризуются значительно большими уровнями облучения пациентов. При проведении некоторых интервенционных исследований существует риск возникновения детерминированных эффектов кожи (эритема, эпиляция). Порог возникновения временной эритемы составляет 2 Гр поглощенной дозы излучения в коже, а порог постоянной эпиляции – 7 Гр [18]. Таким образом, при проведении интервенционных исследований необходимо контролировать значения двух параметров: эффективной дозы – для оптимизации проведения исследования с целью снижения риска возникновения отдаленных последствий (стохастических эффектов) и максимальной поглощенной дозы в коже (МПДК) – для предотвращения возникновения детерминированных эффектов.

Определение эффективной дозы и МПДК у пациентов при проведении интервенционных рентгенологических исследований основано на использовании результатов измерений произведения дозы на площадь за время исследования с помощью проходной ионизационной камеры.

Ниже в этом разделе приведены уточненные значения КП при проведении интервенционных исследований различных отделов организма взрослых пациентов (табл. 4–9), а также новые значения КП при проведении интервенционных исследований сосудов сердца у детей различного возраста (табл. 10). Эти значения были получены на основе изучения протоколов проведения исследований [19] и последующего расчетного моделирования выполнения процедур с использованием компьютерной программы РСМХС 2.0 [1]. Также уточнены контрольные значения произведения дозы на площадь для предотвращения детерминированных эффектов в коже (табл. 11).

Таблица 4

Значения дозовых коэффициентов перехода от измеренного значения произведения дозы на площадь к эффективной дозе у взрослого пациента для исследований сосудов головного мозга

[Table 4]

The values of conversion factors from dose area product to the effective dose for adult patient for cerebral interventional examination]	
Напряжение на рентгеновской трубке, кВ [Tube voltage, kV]	K_d , мЗв/(Гр×см²) [K_d , mSv/(Gy×cm²)]
60–80	0,03
80–90	0,04
90–100	0,05
100–110	0,06

Таблица 5

Значения дозовых коэффициентов перехода от измеренного значения произведения дозы на площадь к эффективной дозе у взрослого пациента для интервенционных исследований брюшной полости

[Table 5]

The values of conversion factors from dose area product to the effective dose for adult patient for abdominal interventional examination]

Напряжение на рентгеновской трубке, кВ [Tube voltage, kV]	K_d , мЗв/(Гр×см²) [K_d , mSv/(Gy×cm²)]
70	0,16
80	0,18
90	0,19
100	0,23
110	0,24

Таблица 6

Значения дозовых коэффициентов перехода от измеренного значения произведения дозы на площадь к эффективной дозе у взрослого пациента для интервенционных исследований малого таза

[Table 6]

The values of conversion factors from dose area product to the effective dose for adult patient for pelvic interventional examinations]

Напряжение на рентгеновской трубке, кВ [Tube voltage, kV]	K_d , мЗв/(Гр×см²) [K_d , mSv/(Gy×cm²)]
70	0,20
80	0,25
90	0,26
100	0,32
110	0,34

Таблица 7

Значения дозовых коэффициентов перехода от измеренного значения произведения дозы на площадь к максимальной поглощенной дозе в коже пациента для исследований сосудов сердца

[Table 7]

The values of conversion factors from dose area product to the maximum skin absorbed dose for adult patient for coronary angiography]

Вид исследования [Type of examination]	K_d^S , мГр/(Гр×см²) [K_d^S , mGy/(Gy×cm²)]
Ангиография сосудов сердца [Heart angiography]	4,2
Ангиопластика сосудов сердца [Heart angioplastic]	10

Таблица 8

Значения дозовых коэффициентов перехода от измеренного значения произведения дозы на площадь к максимальной поглощенной дозе в коже пациента для исследований сосудов головного мозга и каротидных зон

[Table 8]

The values of conversion factors from dose area product to the maximum skin absorbed dose for adult patient for the cerebral and carotid zones examinations]

Вид исследования [Type of examination]	K^S , мГр/(Гр×см²) [K^d , mGy/(Gy×cm²)]
Ангиография сосудов головного мозга и каротидных зон [Cerebral and carotid zones angiography]	5,0
Эмболизация сосудов головного мозга [Cerebral embolization]	6,0

Таблица 9

Значения дозовых коэффициентов перехода от измеренного значения произведения дозы на площадь к максимальной поглощенной дозе в коже пациента для исследований органов брюшной полости и малого таза

[Table 9]

The values of conversion factors from dose area product to the maximum skin absorbed dose for adult patient for the examinations of the abdomen and pelvis]

Вид исследования [Type of examination]	K^S , мГр/(Гр×см²) [K^d , mGy/(Gy×cm²)]
Диагностика и лечение органов брюшной полости и малого таза [Diagnostics and treatment of the pelvic and abdomen organs]	5,0

Таблица 10

Значения дозовых коэффициентов перехода от измеренного значения произведения дозы на площадь к эффективной дозе у детей различного возраста при исследовании сосудов сердца

[Table 10]

The values of conversion factors from dose area product to the effective dose for pediatric patients for cardiac angiography]

Напряжение (кВ) на рентгеновской трубке (фильтр 3мм Al +0,1 мм Cu) [Tube voltage, kV] [Filtration, 3mm Al+0.1mm Cu]	Возрастная группа, год [Age group, year]				
	0–0,5	0,5–2	2–7	7–12	12–17
	K^S , мЗв/(Гр×см²) [K^d , mSv/(Gy×cm²)]				
60	1,70	1,08	0,57	0,36	0,14
70	1,90	1,25	0,67	0,43	0,18
80			0,75	0,49	0,21

Таблица 11

Контрольные значения произведения дозы на площадь для предотвращения детерминированных эффектов в коже

[Table 11]

The values of dose area product to prevent the deterministic effects in the skin]

Вид исследования [Type of examination]	Контрольные значения произведения дозы на площадь, Гр×см² [Dose area product values, Gy×cm²]
Ангиография сосудов сердца [Coronary angiography]	700
Ангиопластика сосудов сердца [Coronary angioplastic]	300
Ангиография сосудов головного мозга и каротидных зон [Cerebral and carotid zones angiography]	600
Эмболизация сосудов головного мозга [Cerebral embolization]	500
Интервенционные исследования органов брюшной полости и малого таза [Interventional examinations of the abdomen and pelvis]	600

Рентгеновские дентальные исследования являются одним из наиболее распространенных видов рентгенологических исследований населения и имеют тенденцию к постоянному и неуклонному росту со временем. В последние десятилетия в России ежегодно проводится более 30 млн рентгенограмм зубов, челюстей и других костей лицевого черепа, что составляет более 20% от всех видов снимков и около 40% рентгенограмм костно-суставной системы. В случае выполнения прицельных снимков отдельных зубов значения эффективных доз малы и, как правило, меньше 10 мкЗв [20].

Существующие в МУ 2.6.1.2944-11 значения КП для этого вида исследований были оценены расчетным путем. За прошедшее время появились результаты экспериментальных исследований, показавшие, что эти коэффициенты для прицельных снимков ряда зубов оказались серьезно завышенными [21, 22]. Исправленные значения КП приведены в таблице 12. При этом значения КП для двух других дентальных технологий исследования зубов с помощью ортопантомографов и компьютерных томографов не изменились.

Таблица 12
Значения дозовых коэффициентов K_e и K_d для расчета эффективной дозы при дентальных внутриротовых исследованиях

[Table 12
The coefficients K_e and K_d for calculation of the effective dose for dental intraoral examinations]

Исследование [Type of examination]	U, кВ [U, kV]	K_e , мкЗв/ (мГр×м²) [K_e , μSv/ (mGy×m²)]	K_d , мкЗв/ (сГр×см²) [K_d , μSv/ (cGy×cm²)]
		Верхняя челюсть [Upper jaw]	
Резцы [Incisor]	50–70	3	0,1
Премоляры [Premolar]	50–70	3	0,1
Моляры [Molar]	50–70	20	0,9
Съемка прикуса [Bitewing]	50–70	35	1,0
		Нижняя челюсть [Lower jaw]	
Резцы [Incisor]	50–70	3	0,1
Премоляры [Premolar]	50–70	4	0,2
Моляры [Molar]	50–70	30	0,9
Съемка прикуса [Bitewing]	50–70	40	1,0

Расчет эффективной дозы для рентгенографических исследований на установках с использованием сканирующего щелевого пучка излучения

Такого рода установки (например, МЦРУ «Сибирь-Н», АРСЦ-02-«Н») предназначены для проведения широкого круга медицинских рентгенодиагностических исследований, в том числе с профилактической целью. Их основной особенностью является существенное снижение доз облучения пациентов по сравнению с обычными системами, в основном за счет резкого уменьшения рассеянного излучения и использования цифровых приемников изображения.

Так, установка МЦРУ «Сибирь-Н» сканирующего типа регистрирует рентгеновское излучение с высокой эффективностью с помощью многоканальной ионизационной камеры (МИК). Рентгеновская трубка, работающая при анодном напряжении от 40 до 100 кВ, щелевой коллиматор и МИК во время съемки одновременно и равномерно перемещаются в вертикальном направлении вдоль тела пациента. Коллиматор с шириной щели 1 мм формирует тонкий веерообразный пучок рентгеновского излучения, который, проходя через тело пациента, попадает во входное окно МИК.

Рентгенологические исследования на установке МЦРУ «Сибирь-Н» выполняются при 2 скоростях сканирования $V_{\text{скан}}$, 35 мм/с и 70 мм/с. При скорости сканирования $V_{\text{скан}}$ (мм/с) тела пациента узким рентгеновским пучком шириной H (мм) эффективное время экспозиции

$t_{\text{эксп}}$ (время воздействия на пациента рентгеновского излучения) определяется следующим образом:

$$t_{\text{эксп}} = \frac{H}{V_{\text{скан}}}, (c) \quad (3)$$

Данный параметр характеризует эффективное время облучения пациента, так как его облучение осуществляется послойно, в отличие от обычной рентгенографии, когда облучение осуществляется широким пучком одновременно всей заданной анатомической области.

Расчет эффективной дозы облучения пациента при проведении рентгенологического исследования с помощью этого типа аппаратов производится так же, как и для обычных аппаратов, т.е. согласно выражению (1). При этом в качестве времени экспозиции используют значение, зависящее от скорости сканирования и размера щелевого пучка, определяемое согласно выражению (3).

Пример

Пациенту в возрасте 30 лет провели рентгенографию грудной клетки в прямой передней проекции со скоростью сканирования $V_{\text{скан}} = 35$ мм/с, шириной пучка $H = 1$ мм. Параметры рентгенологического исследования: размер поля 30×40 см², расстояние источник – приемник – 100 см, $U = 90$ кВ, $i = 45$ мА, $R = 0,056$ мГр×м²/(мА×с). Согласно выражению (3), значение эффективного времени экспозиции $t_{\text{эксп}}$ будет равно:

$$t_{\text{эксп}} = \frac{1 \text{ мм}}{35 (\text{мм/с})} = 0,03 \text{ с}$$

Учитывая соответствующее значение дозового коэффициента из таблицы 1.6. МУ 2.6.1.2944-11, рассчитываем значение эффективной дозы: $E = 0,056$ [мГр×м²/(мА×с)] × 45 мА × 0,03 с × 240 [мкЗв/(мГр×м²)] = 18 мкЗв, при типичных значениях для обычных аппаратов 70–80 мкЗв.

Определение эффективных доз облучения пациентов при проведении костной денситометрии

Для диагностики остеопороза и прогнозирования увеличения риска возникновения переломов используют технологии неинвазивной оценки плотности костной ткани скелета тела человека, в том числе основанные на использовании рентгеновского излучения (рентгеновская костная денситометрия). Рентгенологические исследования выполняются методом сканирования исследуемой области костно-суставной системы при различных скоростях сканирования. Могут проводиться диагностические исследования следующих отделов костно-суставной системы: предплечья, поясничного отдела позвоночника, проксимальных отделов бедренных костей и всего тела. Рентгеновская трубка располагается под столом-штативом. Пациент (кроме исследования предплечья) располагается на поверхности стола-штатива на спине или на боку, в зависимости от проекции. Условия проведения исследований строго стандартизированы. Рентгеновский аппарат может быть оборудован проходной камерой для измерения значения произведения дозы на площадь за исследование.

Для оценки значения эффективной дозы у пациента при проведении костной денситометрии в качестве исходных данных используется значение поглощенной дозы (кермы) в воздухе на входе пучка рентгеновского излучения в тело пациента D_a . Численные значения коэффициентов перехода соответствуют значениям эффективной

дозы при проведении исследования данной области тела, нормированным на значение поглощенной дозы (кермы) в воздухе на входе пучка рентгеновского излучения в тело пациента ($k_{a,d}$, мкЗв/мкГр).

Расчет эффективной дозы облучения пациентов E при проведении костной денситометрии производится по формуле:

$$E = k_{a,d} \cdot D_a, \text{ мкЗв} \quad (4)$$

где: $k_{a,d}$ – коэффициент перехода от значения поглощенной дозы в воздухе на входе пучка рентгеновского излучения в тело пациента к эффективной дозе с учетом сканируемого отдела костно-суставной системы, проекции, размеров зоны сканирования и анодного напряжения на рентгеновской трубке, мкЗв/мкГр; D_a – значение поглощенной дозы (кермы) в воздухе на входе пучка рентгеновского излучения в тело пациента, мкГр.

Значение поглощенной дозы в воздухе на входе пучка рентгеновского излучения в тело пациента для сканирующего рентгеновского аппарата можно оценить следующими способами:

1. Измеряется доза в воздухе на входе пучка рентгеновского излучения в тело пациента (т.е. на поверхности стола-штатива) за одно сканирование при заданном значении анодного напряжения. Измерения проводятся путем сканирования датчика измерительного прибора так, чтобы при сканировании облучался весь чувствительный объем датчика. Результат измерения приводится к значению анодного тока 1 мА (D_a^N , мкГр/мА). При наличии нескольких скоростей сканирования измерения проводятся для каждой скорости сканирования отдельно. Тогда D_a для данного типа исследования определяется по формуле:

$$D_a = D_a^N \cdot I, \text{ мкГр} \quad (5)$$

где: I – значение анодного тока при проведении исследования, мА.

2. Измеряется мощность дозы в воздухе при заданном значении анодного напряжения на входе пучка рентгеновского излучения в тело пациента (т.е. на поверхности стола-штатива). Измерения проводятся путем сканирования датчика измерительного прибора так, чтобы при сканировании облучался весь чувствительный объем датчика. Результат измерения приводится к значению анодного

тока 1 мА (D_a^N , мкГр/мА). Далее, используя данные изготовителя, приведенные в документации на рентгеновский аппарат, определяется значение скорости сканирования для данного типа исследования следующим образом:

$$V_{\text{скан}} = \frac{S_{\text{скан}}}{t_{\text{скан}}}, \text{ см}^2/\text{с}, \quad (6)$$

где: $S_{\text{скан}}$ – площадь зоны сканирования, см²; а $t_{\text{скан}}$ – время сканирования, с.

При скорости сканирования $V_{\text{скан}}$ (см²/с) тела пациента рентгеновским пучком площадью $S_{\text{пучка}}$ (см²) эффективное время экспозиции t^{eff} (эффективное время воздействия на пациента рентгеновского излучения) определяется следующим образом:

$$t^{\text{eff}} = \frac{S_{\text{пучка}}}{V_{\text{скан}}}, \text{ с} \quad (7)$$

Данный параметр характеризует эффективное время облучения пациента, так как его облучение осуществляется послойно, в отличие от обычной рентгенографии, когда облучение осуществляется широким пучком одновременно всей заданной анатомической области. После этого значение D_a для данного типа исследования определяется по формуле:

$$D_a = D_a^N \cdot I \cdot t^{\text{эфф}}, \text{ мкГр} \quad (8)$$

где I – значение анодного тока при проведении исследования, мА.

Если рентгеновский аппарат оборудован проходной ионизационной камерой, то по результатам измерений значения произведения дозы на площадь за исследование D_a определяется следующим образом:

$$D_a = \frac{10^4 \cdot \Phi}{S_{\text{скан}}}, \text{ мкГр} \quad (9)$$

где: Φ – значение произведения дозы на площадь за исследование, сГр×см²; а $S_{\text{скан}}$ – площадь зоны сканирования, см².

Значения коэффициентов перехода от поглощенной дозы (кермы) в воздухе на входе пучка рентгеновского излучения в тело пациента к эффективной дозе с учетом сканируемого отдела костно-суставной системы, проекции и анодного напряжения на рентгеновской трубке ($k_{a,d}$, мкЗв/мкГр) были рассчитаны с помощью программы EDEREX [23] и приведены ниже в таблице 13.

Таблица 13

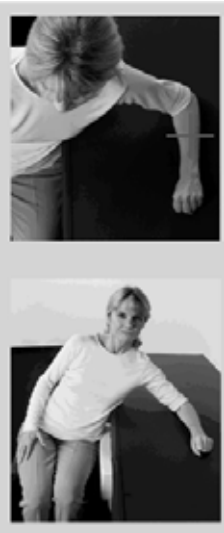
Значения коэффициентов перехода от поглощенной дозы в воздухе на входе пучка рентгеновского излучения в тело пациента к эффективной дозе $k_{a,d}$, мкЗв/мкГр

[Table 13]

The values of conversion factors from the entrance absorbed dose in air to the effective dose $k_{a,d}$, μSv/μGy

Область сканирования [Scan area]	Позиционирование пациента [Patient positioning]	$k_{a,d}$, мкЗв/мкГр [$k_{a,d}$, μSv/μGy]
Поясничный отдел позвоночника (облучение со спины) [Lumbar spine, PA projection]		1)0,04/0,05/0,06

Продолжение таблицы 13

Область сканирования [Scan area]	Позиционирование пациента [Patient positioning]	k_{a,d^1} мкЗв/мкГр [k_{a,d^1} μ Sv/ μ Gy]
Поясничный отдел позвоночника (облучение сбоку) [Lumbar spine, Lateral projection]		0,05/0,07/0,075
2) Бедра (облучение со спины) [Hip, PA projection]		0,03/0,04/0,045
Предплечье [Forearm]		0,005/0,008/0,009

Область сканирования [Scan area]	Позиционирование пациента [Patient positioning]	$k_{a,d}$ мкЗв/мкГр [$k_{a,d}$ $\mu\text{Sv}/\mu\text{Gy}$]
Все тело (облучение со спины) [Whole body, PA projection]		0,5/0,6/0,7

¹⁾ – первая цифра соответствует напряжению на трубке 80 кВ, вторая – 100 кВ, третья – 120 кВ; ²⁾ при исследовании двух бедер значение эффективной дозы будет в два раза больше.
[Note: ¹⁾ – the first figure corresponds to the tube voltage 80 kV, the second – 100 kV, the third – 120 kV; 2) in the examination of two hips the value of the effective dose will be twice as much].

Пример 1

Проведено измерение плотности костной ткани проксимальных отделов двух бедренных костей с помощью рентгеновского костного денситометра.

Параметры проведения исследования: напряжение на трубке – 76 кВ, значение анодного тока во время исследования $I = 3\text{мА}$, площадь сканирования $S_{\text{скан}} = 2 \times (15 \times 12) \text{ см}^2 = 360 \text{ см}^2$, время сканирования $t_{\text{скан}} = 60 \text{ с}$, площадь пучка рентгеновского излучения $S_{\text{пучка}} = 2 \times 0,3 \text{ см}^2 = 0,6 \text{ см}^2$. Измеренное на поверхности стола-штатива значение нормированной мощности дозы составило $\dot{D}_a = 150 \text{ мкГр/мАс}$.

Рассчитываем $V_{\text{скан}}$ по формуле (6): $V_{\text{скан}} = \frac{S_{\text{скан}}}{t_{\text{скан}}} = \frac{15 \times 12 \times 2}{60} = 6 \frac{\text{см}^2}{\text{с}}$,

далее рассчитываем по формуле (7): $t^{\text{eff}} = \frac{S_{\text{пучка}}}{V_{\text{скан}}} = \frac{2 \times 0,3}{6} = 0,1 \text{ с}$;

далее рассчитываем D_a по формуле (8): $D_a = \dot{D}_a \cdot I \cdot t^{\text{eff}} = 150 \cdot 3 \cdot 0,1 = 45 \text{ мкГр}$.

Значение коэффициента $k_{a,d}$ берем из таблицы 10, оно равно 0,03 мкЗв/мкГр для напряжения 80 кВ. После этого рассчитываем значение эффективной дозы по формуле (4):

$$E = k_{a,d} \cdot K_{a,e} = 0,03 \cdot 45 = 1,4 \text{ мкЗв}$$

Пример 2

Проведено измерение плотности костной ткани всего тела с помощью рентгеновского костного денситометра. Рентгеновский аппарат оборудован проходной ионизационной камерой.

Параметры проведения исследования: напряжение на трубке – 100 кВ, площадь сканирования $S_{\text{скан}} = 196 \times 67 \text{ см}^2$

= 13 132 см². Значение Φ , измеренное в ходе проведения исследования, составило 22 сГр×см².

Рассчитываем D_a по формуле (9):

$$D_a = \frac{10^4 \cdot \Phi}{S_{\text{скан}}} = \frac{10^4 \cdot 22}{13132} = 16,8 \text{ мкГр}$$

Значение коэффициента $k_{a,d}$ берем из таблицы 10, оно равно 0,6 мкЗв/мкГр для напряжения 100 кВ. После этого рассчитываем значение эффективной дозы по формуле (4):

$$E = k_{a,d} \cdot K_{a,e} = 0,6 \cdot 16,8 = 10,1 \text{ мкЗв}$$

Заключение

В статье обоснованы и представлены измененные и новые значения КП от измеряемых на практике величин (входная доза, произведение дозы на площадь) к значению эффективной дозы у пациентов различного возраста, подвергающихся медицинским диагностическим исследованиям. Эти изменения планируются к введению в новую редакцию Методических указаний «Контроль эффективных доз облучения пациентов при проведении медицинских рентгенологических исследований» (МУ 2.6.1.2944-11).

Обращаем внимание, что новые значения КП возможно использовать на практике уже сейчас, тогда как изменения к действующим в настоящее время в МУ 2.6.1.2944-11 значениям КП можно будет применить только после их утверждения Роспотребнадзором.

Литература

1. Tapiovaara, M. and Siiskonen, T. PCXMC—A Monte Carlo Program for Calculating Patient Doses in Medical

- x-Ray Examinations, second edn. (Helsinki, Finland: Stateiluturvakeskus) (2008) STUK-A 231.
- Водоватов, А.В. Определение коэффициентов перехода от произведения дозы на площадь к эффективной дозе для рентгеноскопических исследований желудка с бариевым контрастом для взрослых пациентов / А.В. Водоватов, В.Ю. Голиков, И.Г. Камышанская, К.В. Зинкевич, К. Бернхардссон // Радиационная гигиена. – 2018. – Т. 11, № 1. – С. 93-100. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2018-11-1-93-100>
 - Yakoumakis [et al.] Evaluation of organ and effective doses during paediatric barium meal examinations using PCXMC 2.0 Monte Carlo code. Rad. Prot. Dos., 2015; 163(2): 202-209.
 - Damilakis J. [et al.] Normalized dose data for upper gastrointestinal tract contrast studies performed to infants. Medical Physics 33, 1033 (2006); doi: 10.1118/1.2181297.
 - Livingstone [et al.] Radiation dose to paediatric patients undergoing fluoroscopic examinations performed using digital imaging system. Radiography (2008) 14, 17-23.
 - Weir [et al.] Radiation doses to children during modified barium swallow studies. Pediatr. Radiol. (2007) 37:283–290.
 - European Commission. European guidelines on quality criteria for computed tomography. Report EUR 16262 – Luxembourg, 1999, Shrimpton P.C. Reference doses for pediatric computed tomography. Shrimpton P.C. and Wall B.F. Radiat.Prot.Dosim., 2000, Vol. 90(1), pp. 249-252.
 - Snyder W.S., Fisher H.L., Ford M.R., Warner G.G. Estimates of absorbed fractions for monoenergetic photon sources uniformly distributed in various organs of a heterogeneous phantom. Journal of Nuclear Medicine, 1969, Vol 3, pp. 7–52.
 - Deak P.D., Smal Y., Kalender W.A. Multisection CT protocols: sex- and age-specific conversion factors used to determine effective dose from dose-length product. Radiology, 2010, Vol. 257(1), pp. 158-166.
 - Huda W., Magill D., He W. CT effective dose per dose length product using ICRP 103 weighting factors. Med. Phys., 2011, Vol. 38(3), pp. 1261-1265.
 - Shrimpton PC, Jansen JTM, Harrison JD. Updated estimates of typical effective doses for common CT examinations in the UK following the 2011 national review. Br. J. Radiol., 2016; 89: 20150346.
 - Stamm G., Nagel H.D. CT-Expo V 2.3. A Tool for Dose Evaluation in Computed Tomography. User's Guide, 2014, 59 p.
 - Ding A., Gao Y., Liu H., [et al.] Virtual Dose: a software for reporting organ doses from CT for adult and pediatric patients. Phys. Med. Biol., 2015, Vol. 60, pp. 5601–5625.
 - Lee C., Kim K.P., Bolch W.E. [et al.] NCICT: a computational solution to estimate organ doses for pediatric and adult patients undergoing CT scans. J. Radiol. Prot., 2015, Vol. 35, pp. 891–909.
 - Sahbaee P., Segars W.P., Samei E. [et al.] Patient-based estimation of organ dose for a population of 58 adult patients across 13 protocol categories. Medical Physics, 2014, Vol. 41, № 7, pp. 072104-1-10.
 - Чипига, Л.А. Сравнение расчетных методов определения эффективной и органических доз у пациентов при компьютерно-томографических исследованиях / Л.А. Чипига // Радиационная гигиена. – 2017. – Т. 10. – № 1. – С. 56-64.
 - Чипига, Л.А. Оценка коэффициентов перехода от произведения дозы на длину сканирования к эффективной дозе для КТ всего тела путем фантомных экспериментов / Л.А. Чипига, В.Ю. Голиков, Е.Н. Шлеенкова, А.В. Поздняков // Медицинская физика. – 2016. – Т. 72, № 3. – С. 55-62.
 - ICRP, 2000. Avoidance of radiation injuries from medical interventional procedures. ICRP Publication 85. Ann. ICRP 30(2).
 - Сарычева, С.С. Радиационная защита пациентов при проведении интервенционных рентгенологических исследований: дис. канд. биол. наук: защищена 19.12.13: утв. 16.06.14. / Сарычева С.С. – СПб., 2013. – 207 с.
 - European Commission. Radiation Protection 136. European Guidelines on Radiation Protection in Dental Radiology. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2004.
 - Loe H. K., Eenboom, F., Chofor, N., Pfaffenberger, A., Steinhoff, M., Poplawski, A., Willborn, K., and Poppe, B. Conversion coefficients for the estimation of effective doses in intraoral and panoramic dental radiology from dose-area product values. Radiation Protection Dosimetry (2008), Vol. 131, No. 3, pp. 365–373.
 - Ebba Helmrot and Gudrun Alm Carlsson. Measurement of radiation dose in dental radiology. Radiation Protection Dosimetry (2005), Vol. 114, Nos 1-3, pp. 168–171.
 - V. Golikov, A. Barkovsky, E. Wallström, Å. Cederblad. A comparative study of organ doses assessment for patients undergoing conventional X-ray examinations: phantom experiments vs. calculations. Radiation Protection Dosimetry, Volume 178, No. 2, 2018, pp. 223-234.

Поступила: 15.05.2019 г.

Голиков Владислав Юрьевич – старший научный сотрудник лаборатории радиационной гигиены медицинских организаций 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: sg235@rambler.ru

Чипига Лариса Александровна – научный сотрудник лаборатории радиационной гигиены медицинских организаций 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

Водоватов Александр Валерьевич – кандидат биологических наук, заведующий 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, Санкт-Петербург, Россия

Сарычева Светлана Сергеевна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник 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: Голиков В.Ю., Чипига Л.А., Водоватов А.В., Сарычева С.С. Дополнения и изменения в оценке эффективных доз внешнего облучения пациентов при медицинских исследованиях // Радиационная гигиена. – 2019. – Т. 12, № 3. – С. 120-132. DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-3-120-132

Supplements and adjustments to the method of the assessment of the effective dose from the external exposure of the patients

Vladislav Yu. Golikov, Larisa A. Chipiga, Aleksandr V. Vodovatov, Svetlana S. Sarycheva

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 current study was aimed at the justification and proposal of the supplements and corrections that are planned for the implementation in the updated version of the Methodical guidelines "Control of the effective doses of the patients from the X-ray examinations" (MU 2.6.1.2944-11). This study included estimation and/or update of the values of the conversion coefficients from measurable dose characteristics (entrance-surface dose, dose-area product) to the effective dose for various X-ray examinations. Estimation of the updated conversion coefficients was based both on the home analytical and experimental studies based on the modern protocols of the X-ray examinations, and the results of the published data. Updated values of the conversion coefficients were presented for: fluoroscopic examinations of the gastro-intestinal tract with barium media for adult and pediatric patients; interventional examinations of the adult patients; computed tomography examinations for adult and pediatric patients; dental intraoral examinations. For the first time, the methods of the estimation of the effective dose and corresponding conversion coefficients were presented for: computed tomography of the extremities, whole body, scan of several anatomic regions; angiographic examinations of the heart vessels of the pediatric patients of different age categories; slot-scanning X-ray examinations; bone densitometry

Key words: X-ray examinations, patients, effective dose, conversion coefficients.

References

1. Tapiovaara, M. and Siiskonen, T. PCXMC—A Monte Carlo Program for Calculating Patient Doses in Medical x-Ray Examinations, second edn. (Helsinki, Finland: Stateilyturvakeskus) (2008) STUK-A 231.
2. Vodovatov A.V., Golikov V.Yu., Kamyshanskaya I.G., Zinkevich K.V., Bernhardtsson C. Determination of the conversion factors from the dose area product to the effective dose for fluoroscopic examination of the stomach with barium contrast for adult patients. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene, 2018, Vol. 11, №1, pp. 93-100. (In Russian)
3. Yakoumakis [et al.] Evaluation of organ and effective doses during paediatric barium meal examinations using PCXMC 2.0 Monte Carlo code. Rad. Prot. Dos., 2015; 163(2): 202-209.
4. Damilakis J. [et al.] Normalized dose data for upper gastro-intestinal tract contrast studies performed to infants. Medical Physics 33, 1033 (2006); doi: 10.1118/1.2181297.
5. Livingstone [et al.] Radiation dose to paediatric patients undergoing fluoroscopic examinations performed using digital imaging system. Radiography (2008) 14, 17-23.
6. Weir [et al.] Radiation doses to children during modified barium swallow studies. Pediatr. Radiol. (2007) 37:283-290.
7. European Commission. European guidelines on quality criteria for computed tomography. Report EUR 16262 – Luxembourg, 1999, Shrimpton P.C. Reference doses for pediatric computed tomography. Shrimpton P.C. and Wall B.F. Radiat. Prot. Dosim., 2000, Vol. 90(1), pp. 249-252.
8. Snyder W.S., Fisher H.L., Ford M.R., Warner G.G. Estimates of absorbed fractions for monoenergetic photon sources uniformly distributed in various organs of a heterogeneous phantom. Journal of Nuclear Medicine, 1969, Vol 3, pp. 7-52.
9. Deak P.D., Smal Y., Kalender W.A. Multisection CT protocols: sex- and age-specific conversion factors used to determine effective dose from dose-length product. Radiology, 2010, Vol. 257(1), pp. 158-166.
10. Huda W., Magill D., He W. CT effective dose per dose length product using ICRP 103 weighting factors. Med. Phys., 2011, Vol. 38(3), pp. 1261-1265.
11. Shrimpton P.C., Jansen J.T.M., Harrison J.D. Updated estimates of typical effective doses for common CT examinations in the UK following the 2011 national review. Br. J. Radiol., 2016; 89: 20150346.
12. Stamm G., Nagel H.D. CT-Expo V 2.3. A Tool for Dose Evaluation in Computed Tomography. User's Guide, 2014, 59 p.
13. Ding A., Gao Y., Liu H., [et al.] Virtual Dose: a software for reporting organ doses from CT for adult and pediatric patients. Phys. Med. Biol., 2015, Vol. 60, pp. 5601-5625.
14. Lee C., Kim K.P., Bolch W.E. [et al.] NCICT: a computational solution to estimate organ doses for pediatric and adult patients undergoing CT scans. J. Radiol. Prot., 2015, Vol. 35, pp. 891-909.
15. Sahbaee P., Segars W.P., Samei E. [et al.] Patient-based estimation of organ dose for a population of 58 adult patients across 13 protocol categories. Medical Physics, 2014, Vol. 41, № 7, pp. 072104-1-10.
16. Chipiga, L.A. Comparison of calculation methods for evaluation of effective and organ doses in patients undergoing CT examinations. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene, 2017, Vol. 10, № 1, pp. 56-64. (In Russian)
17. Chipiga L.A., Golikov V.Yu., Shleenkova E.N., Pozdnyakov A.V. Estimation of conversion factors from DLP to effective dose for whole body CT examination using phantom experiments. Medical Physics, 2016, Vol. 72, № 3, pp. 55-62. (In Russian)
18. ICRP, 2000. Avoidance of radiation injuries from medical interventional procedures. ICRP Publication 85. Ann. ICRP 30(2).

Vladislav Yu. Golikov

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

Address for correspondence: Mira str., 8, Saint-Petersburg, 197101; E-mail: sg235@rambler.ru

19. Sarycheva, S.S. Radiation protection of patients during interventional radiological examination: Dissertation (biological sciences): Saint Petersburg, 2013, 207 p. (In Russian)
20. European Commission. Radiation Protection 136. European Guidelines on Radiation Protection in Dental Radiology. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2004.
21. Looe, H.K., Eenboom, F., Chofo, N., Pfaffenberger, A., Steinhoff, M., Poplawski, A., Willborn, K., and Poppe, B. Conversion coefficients for the estimation of effective doses in intraoral and panoramic dental radiology from dose-area product values. *Radiation Protection Dosimetry* (2008), Vol. 131, No. 3, pp. 365–373.
22. Ebba Helmrot and Gudrun Alm Carlsson. Measurement of radiation dose in dental radiology. *Radiation Protection Dosimetry* (2005), Vol. 114, Nos 1-3, pp. 168–171.
23. V. Golikov, A. Barkovsky, E. Wallström, Å. Cederblad. A comparative study of organ doses assessment for patients undergoing conventional X-ray examinations: phantom experiments vs. calculations. *Radiation Protection Dosimetry*, Volume 178, No. 2, 2018, pp. 223-234.

Received: May 15, 2019

For correspondence: Vladislav Yu. Golikov – Senior Researcher of the Medical 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: sg235@rambler.ru)

Larisa A. Chipiga – Researcher of the Medical Protection Laboratory, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

Aleksandr V. Vodovатов – Head of Protection Laboratory, 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, Saint-Petersburg, Russia

Svetlana S. Sarycheva – Senior Scientific Researcher 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, Saint-Petersburg, Russia

For citation: Golikov V.Yu., Chipiga L.A., Vodovатов A.V., Sarycheva S.S. Supplements and adjustments to the method of the assessment of the effective dose from the external exposure of the patients. *Radiatsionnaya Gygiena* = Radiation Hygiene, 2019, Vol. 12, No. 3, pp. 120-132. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-3-120-132

Правила для авторов журнала «Радиационная гигиена»

Научно-практический журнал «Радиационная гигиена» был основан в 2008 г. Журнал представляет собой издание научно-теоретической и практической ориентации, направленное на публикацию оригинальных исследований, экспериментальных, теоретических статей, обзоров, кратких сообщений, дискуссионных статей, отчетов о конференциях, рецензий на работы по актуальным вопросам радиационной гигиены, писем в редакцию, хроники событий научной жизни. Тематика журнала включает актуальные вопросы и достижения в области радиационной гигиены и санитарного надзора за радиационной безопасностью.

Полные тексты электронных версий статей представлены на сайте Научной электронной библиотеки www.elibrary.ru и официальном сайте журнала «Радиационная гигиена» www.radhyg.ru.

Журнал «Радиационная гигиена» входит в перечень российских рецензируемых научных журналов, рекомендованных ВАК РФ, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук. Работы для опубликования в журнале должны быть представлены в соответствии с данными требованиями:

1. Материалы, представляемые в статье, не должны быть ранее опубликованными в других печатных изданиях. Авторам следует информировать редакцию журнала о том, что какие-то части этих материалов уже опубликованы и могут рассматриваться как дублирующие. В таких случаях в новой статье должны быть ссылки на предыдущие работы. Копии таких материалов прилагаются к рукописи, чтобы редакция имела возможность принять решение, как поступить в данной ситуации. Не допускается направление статей, которые уже напечатаны в других изданиях или представлены для печати в другие издательства.

2. Редакция имеет право вести переговоры с авторами по уточнению, изменению, сокращению рукописи.

3. Редакция оставляет за собой право сокращать и редактировать представленные работы. Все статьи, поступающие в редакцию журнала, проходят рецензирование в соответствии с требованиями ВАК.

4. Статья должна сопровождаться официальным направлением учреждения, в котором выполнена данная работа. В официальном направлении должны быть перечислены фамилии всех авторов и указано название работы. Должно быть экспертное заключение об отсутствии ограничений на публикацию материала в открытой печати и виза научного руководителя на первой странице статьи. Статья должна быть подписана всеми авторами.

5. Рукописи авторам не возвращаются.

6. **Рукописи, оформленные не в соответствии с правилами, к публикации не допускаются.**

7. Объем обзорных статей не должен превышать 20 страниц машинописного текста. Оригинальных исследований, исторических статей – 15 страниц, исторических и дискуссионных статей – 10, отчетов о конференциях, кратких сообщений и заметок из практики – 5 страниц.

8. Текст статьи печатается на одной стороне листа формата А4 шрифтом Times New Roman кеглем 14, с межстрочным интервалом 1,5. Ориентация книжная (портрет) с полями слева – 2,5 см, сверху – 2 см, справа – 1,5 см, снизу – 2 см. Нумерация страниц – сверху в центре, первая страница без номера. Формат документа при отправке в редакцию – .doc или .docx.

9. Статьи следует присылать в редакцию в электронном виде по адресу: journal@niirg.ru в формате MS Word с приложением сканированных копий направительного письма и

первой страницы статьи с подписью всех авторов статьи в формате pdf. Печатный экземпляр рукописи, подписанный авторами, и оригинал направительного письма отсылается по почте в адрес редакции.

10. **Титульный лист** должен содержать:

- название статьи (оно должно быть кратким и информативным, не допускается использование сокращений и аббревиатур, а также торговых (коммерческих) названий приборов, медицинской аппаратуры и т.п.);

- фамилию и инициалы автора(ов);

- наименование учреждений, в которых работают авторы с указанием ведомственной принадлежности (Роспотребнадзор, Минздрав России, РАМН и т.п.), город, страна (префиксы учреждений, указывающие на форму собственности, статус организации (ГУ ВПО, ФГБУ, ФБУН и т.д.) не указываются);

- рядом с фамилией автора(ов) и названием учреждения цифрами в верхнем регистре обозначается, в каком учреждении работает каждый из авторов. Если все авторы работают в одном учреждении, указывать место работы каждого автора отдельно не нужно;

- вся информация предоставляется на русском и английском языках. Фамилии авторов нужно транслитерировать по системе BGN (Board of Geographic Names), представленной на сайте www.translit.ru. **Указывается официально принятый английский вариант наименования организаций!**

11. На отдельном листе указываются сведения об авторах: фамилия, имя, отчество (полностью) на русском языке и в транслитерации, ученая степень, ученое звание, должность в учреждении/учреждениях, рабочий адрес с почтовым индексом, рабочий телефон и адрес электронной почты всех авторов. Сокращения не допускаются.

12. После титульного листа размещается резюме статьи на русском и английском языках (объемом не менее 250 слов каждая). Резюме к оригинальной научной статье должно иметь следующую структуру: цель, материалы и методы, результаты, заключение. Все пишется сплошным текстом, без выделения абзацев. Для остальных статей (обзор, лекция, дискуссия) резюме должно включать краткое изложение основной концепции статьи, по сути краткое изложение самой статьи. **Резюме не должно содержать аббревиатур и сокращений, кроме общепринятых в мировой научной литературе.** Резюме является независимым от статьи источником информации для размещения в различных научных базах данных. **Обращаем особое внимание на качество английской версии резюме!** Оно будет опубликовано отдельно от основного текста статьи и должно быть понятным без ссылки на саму публикацию. В конце приводятся **ключевые слова или словосочетания на русском и английском языках** (не более 12) в порядке значимости. **Ключевые слова также не должны содержать аббревиатур и сокращений.**

13. Текст оригинального научного исследования должен состоять из введения и выделяемых заголовками разделов: «Введение», «Цель исследования», «Задачи исследования», «Материалы и методы», «Результаты и обсуждение», «Выводы» или «Заключение», «Литература».

В разделе «Материалы и методы» должны быть четко описаны методы и объекты исследования, источники и вид ионизирующего излучения, дозы, мощность дозы, условия облучения и т.д.

В разделе «Материалы и методы» должны быть четко описаны методы и объекты исследования, источники и вид ионизирующего излучения, дозы, мощность дозы, условия облучения и т.д.

14. Если в статье имеется описание наблюдений на человеке, не используйте фамилии, инициалы больных или номера историй болезни, особенно на рисунках или фотографиях. При изложении экспериментов на животных укажите, соответствовало ли содержание и использование лабораторных животных правилам, принятым в учреждении, рекомендациям национального совета по исследованиям, национальным законам.

15. Все радиационные единицы следует приводить в международной системе единиц измерения (СИ) (см.: ГОСТ – 8.417 – 81 ГСИ. Единицы физических величин»; В.И. Иванов В.П. Машкович, Э.М. 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 научно-го 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, Gerdts 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 vzbuditeley 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.