

**Научно-практический  
журнал**

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

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

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

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

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

Издается ежеквартально.

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

Ссылка на журнал «РАДИАЦИОННАЯ ГИГИЕНА» обязательна.

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

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

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

Тираж 300 экз.

ISSN 1998-426X



9 771998 426783 >

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

© «Радиационная гигиена», 2018

# РАДИАЦИОННАЯ ГИГИЕНА

## RADIATIONNAYA GYGIENA

Председатель редакционного совета  
**Г.Г. Онищенко**

Главный редактор  
**И.К. Романович**



Том 11 № 4, 2018

## Председатель редакционного совета

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

## Главный редактор

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

## Заместитель главного редактора

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

## Редакционный совет

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

**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. Никифорова» 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](mailto:journal@niirg.ru)  
Web: [www.radhyg.ru](http://www.radhyg.ru)

# RADIATION HYGIENE

**Chairman of Editorial Council**  
Gennadiy G. Onishchenko

**Editor-in-Chief**  
Ivan K. Romanovich



# RADIATION HYGIENE

---

Vol. 11 № 4, 2018

## Chairman of Editorial Council

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

## Editor-in-Chief

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

## Deputy Editor-in-Chief

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

## Members of Editorial Council

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## Editorial Board

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

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

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

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

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

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

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

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

**Elena P. Ermolina** — Federal State Budgetary Educational Institution of Further Professional Education «Russian Medical Academy of Continuous Professional Education» of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation (Moscow, Russian Federation)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## СОДЕРЖАНИЕ

Том 11 № 4, 2018

### НАУЧНЫЕ СТАТЬИ

Иванов В.К., Кашеев В.В., Карпенко С.В., Глебова С.Е.,  
Туманов К.А., Чекин С.Ю., Максюттов М.А., Корело А.М.,  
Ловачев С.С., Иванов С.А., Каприн А.Д.  
**Заболеваемость и смертность от лейкозов  
участников ликвидации последствий аварии  
на Чернобыльской АЭС: оценка радиационных  
рисков за период наблюдения с 1986 по 2014 г.г.** 7

Касаткин В.В., Касаткин А.В., Ильичев В.А., Седов Н.С.,  
Василенко Е.М., Евдокимов С.В.  
**Радиоэкологические исследования после  
завершения разведочных работ на Томторском  
редкометалльном месторождении (Республика  
Саха (Якутия))** ..... 18

Репин В.С., Репин Л.В.  
**Критерии защиты населения после радиационной  
аварии: использование радиационного риска  
для анализа и принятия оптимальных решений  
по ограничению потребления пищевых продуктов,  
загрязненных техногенными радионуклидами**..... 28

Голиков В.Ю.  
**Анализ долгосрочной динамики доз внешнего  
облучения населения после  
Чернобыльской аварии**..... 39

Микрюкова Л.Д., Крестинина Л.Ю., Епифанова С.Б.  
**Изучение послойных изменений хрусталика  
в процессе формирования катаракты у  
лиц, подвергшихся облучению в результате  
радиационных инцидентов на Южном Урале**..... 51

Фирсанов В.Б., Тарита В.А., Арефьева Д.В.,  
Брук Г.Я., Яковлев В.А.  
**Послеаварийный контроль внутреннего  
облучения при радиационных авариях  
на кораблях и судах с ядерными  
энергетическими установками: задачи  
и аппаратно-методическое обеспечение**..... 64

Дударенко С.В., Рожко А.В., Лопатин С.Н., Леонтьев О.В.  
**Клинико-морфологические особенности  
патологии верхних отделов пищеварительной  
системы у жителей, постоянно проживающих  
на радиоактивно загрязненных территориях**..... 71

### ОБЗОРЫ

Гребенюк А.Н., Легеца В.И., Милыев А.В., Старков А.В.  
**Современная стратегия защитных  
и медицинских мероприятий  
при радиационных авариях** ..... 80

Алексанин С.С., Рыбников В.Ю., Рогалев К.К., Гудзь Ю.В.,  
Дударенко С.В.  
**Специализированная и высокотехнологичная  
медицинская помощь пострадавшим в аварии  
на Чернобыльской АЭС в рамках мероприятий  
Союзного государства** ..... 89

## CONTENTS

Vol. 11 № 4, 2018

### RESEARCH ARTICLES

Ivanov V.K., Kashcheev V.V., Karpenko S.V., Glebova S.E.,  
Tumanov K.A., Chekin S.Yu., Maksyutov M.A., Korelo A.M.,  
Lovachev S.S., Ivanov S.A., Kaprin A.D.  
**Leukemia incidence and mortality of recovery  
operation workers of the Chernobyl accident:  
assessment of radiation risks for the follow-up  
period of 1986–2014** ..... 16

Kasatkin V.V., Kasatkin A.V., Ilyichev V.A., Sedov N.S.,  
Vasilenko E.M., Evdokimov S.V.  
**Post-prospecting radioecological surveys  
on the Tomtorskoye rare metal deposit  
(Sakha Republic (Yakutia))** ..... 26

Repin V.S., Repin L.V.  
**Criteria for the protecting of population after  
radiation accident: use of radiation risk  
for analysis and optimal decisions making to limit  
the consumption of food contaminated  
by technogenic radionuclides**..... 37

Golikov V.Yu.  
**Analysis of the long-term dynamics of external  
doses of the population after the Chernobyl  
accident**..... 39

Mikryukova L.D., Krestinina L.Yu., Epiphanova S.B.  
**A study of layered lens change in the process  
of cataract formation in persons exposed  
to radiation as a result of radiation accidents  
in the Southern Urals**..... 62

Firsanov V.B., Tarita V.A., Arefyeva D.V.,  
Bruck G.Ya., Yakovlev V.A.  
**Internal irradiation control after radiation  
accidents on ships and vessels with nuclear  
power units: tasks and hardware-methodical  
support** ..... 70

Dudarenko S.V., Rozhko A.V., Lopatin S.N., Leontyev O.V.  
**Clinical and morphological features of the pathology  
of the upper digestive system in the residents  
permanently residing in radioactively contaminated  
areas**..... 78

### REVIEWS

Grebenyuk A.N., Legeza V.I., Milyaev A.V., Starkov A.V.  
**Modern strategy of health protection  
and medical measures in radiation accidents** ..... 87

Aleksanin S.S., Rybnikov V.Yu., Rogalev K.K., Gudzy Yu.V.,  
Dudarenko S.V.  
**Specialized and high-tech medical assistance  
to the victims of the accident at the Chernobyl  
NPP in the framework of the Union State** ..... 96

## СОДЕРЖАНИЕ

Том 11 № 4, 2018

### ЕСКИД И РАДИАЦИОННО-ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ПАСПОРТИЗАЦИЯ

Барковский А.Н., Ахматдинов Руслан Р., Ахматдинов Рустам Р.,  
Барышков Н.К., Библин А.М., Братилова А.А., Журавлева В.Е.,  
Кормановская Т.А., Кувшинников С.И., Романович И.К.,  
Сивенков А.Г., Тутельян О.Е., Цовьянов А.Г.

**Итоги функционирования Единой государственной  
системы контроля и учета индивидуальных  
доз облучения граждан Российской Федерации  
по данным за 2017 г. .... 98**

**ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ ЖУРНАЛА  
«РАДИАЦИОННАЯ ГИГИЕНА» ..... 129**

## CONTENTS

Vol. 11 № 4, 2018

### ISDCR AND RUSSIAN FEDERATION RADIATION-HYGIENE PASSPORTIZATION

Barkovsky A.N., Akhmatdinov Ruslan R., Akhmatdinov Rustam R.,  
Baryshkov N.K., Biblin A.M., Bratilova A.A., Zhuravleva V.E.,  
Kormanovskaya T.A., Kuvshinnikov S.I., Romanovich I.K.,  
Sivenkov A.G., Tutelyan O.E., Tsovyanov A.G.

**The results of functioning of the Unified  
System of Individual Dose Control of the  
Russian Federation citizens based  
on the 2017 data ..... 107**

**JOURNAL OF RADIATION HYGIENE –  
INSTRUCTIONS FOR AUTHORS ..... 129**

## Заболеваемость и смертность от лейкозов участников ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС: оценка радиационных рисков за период наблюдения с 1986 по 2014 г.

В.К. Иванов<sup>1</sup>, В.В. Кашеев<sup>1</sup>, С.В. Карпенко<sup>1</sup>, С.Е. Глебова<sup>1</sup>, К.А. Туманов<sup>1</sup>,  
С.Ю. Чекин<sup>1</sup>, М.А. Максютлов<sup>1</sup>, А.М. Корело<sup>1</sup>, С.С. Ловачев<sup>1</sup>, С.А. Иванов<sup>1</sup>,  
А.Д. Каприн<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Медицинский радиологический научный центр им. А.Ф. Цыба — филиал Национального медицинского исследовательского центра радиологии Минздрава России, Обнинск, Россия

<sup>2</sup>Национальный медицинский исследовательский центр радиологии Министерства здравоохранения Российской Федерации, Обнинск, Россия

*Исследована заболеваемость лейкозами в когорте российских ликвидаторов-мужчин численностью 78 110 человек за период наблюдения 1986–2014 гг. Средний возраст ликвидаторов на момент въезда в зону работ по ликвидации аварии на Чернобыльской АЭС составил 34 года. Радиационный риск заболеваемости лейкозами (за исключением хронического лимфолейкоза) анализировали для ликвидаторов, имевших официальные данные об индивидуальной дозе внешнего гамма-облучения всего тела, накопленной за период работы. За период наблюдения были выявлены 157 случаев заболеваний лейкозами (за исключением хронического лимфолейкоза). Сбор и верификацию данных о случаях гемобластозов среди лиц, подвергшихся радиационному воздействию, проводили согласно специально разработанному алгоритму. Средняя доза ликвидаторов составила 108 мГр. В период 1986–1997 гг. установлена статистически значимая ( $p < 0,05$ ) линейная дозовая зависимость заболеваемости лейкозами с избыточным относительным риском  $ERR/Gr = 4,17$  (90% ДИ: 0,18; 13,24). С 1998 г. до конца периода наблюдения, а также за весь период наблюдения (с 1986 по 2014 гг.), статистически значимых оценок избыточного относительного риска обнаружено не было. Для смертности статистически значимых оценок избыточного относительного риска и относительного риска не было обнаружено ни для одного из периодов наблюдения. Полученные оценки радиационного риска заболеваемости свидетельствуют о том, что статистически значимая избыточная заболеваемость лейкозами ликвидаторов, которая может быть связана с внешним гамма-облучением, проявляется в первое десятилетие после облучения.*

**Ключевые слова:** когортные исследования, заболеваемость лейкозами, смертность, когорта ликвидаторов-мужчин, период наблюдения, избыточный относительный риск, радиационный риск, доза облучения, дозовая зависимость, модель дозовой зависимости, алгоритм верификации.

### Введение

Среди радиогенных злокачественных новообразований лейкозы имеют максимальный относительный радиационный риск и минимальный латентный период возникновения после облучения – около 2 лет. Для оценки риска лейкозов необходимо исследовать очень большие облученные когорты, поскольку лейкоз является редким заболеванием (около 2 случаев на 100 тыс. человеко-лет) [1]. Основным источником информации о зависимости доза – эффект для лейкозов являются данные о когорте лиц, подвергшихся острому облучению в широком диапазоне доз во время атомных бомбардировок Японии (когорты LSS) [2].

Японская когорта была облучена в 1945 г., однако эпидемиологические исследования были начаты только че-

рез 5 лет. Когорта LSS включала 93 741 человека, выживших после атомных бомбардировок городов Хиросимы и Нагасаки, которые проживали в пределах 10 км от эпицентров и были живы 1 октября 1950 г., а также 26 580 жителей Хиросимы и Нагасаки, которые находились за пределами городов (NIC) во время бомбардировок. Последняя группа, которая упоминается как NIC, по размеру и частоте соответствует половозрастным показателям людей, выживших после бомбардировок, которые находились в пределах 2,5 км от эпицентров. Анализ радиационных рисков проводился для когорты LSS численностью 113 011 человек, для которых были доступны оценки доз. За период наблюдения 1950–2001 гг. в этой когорте было зарегистрировано 312 случаев лейкозов, исключая хронический лимфолей-

Иванов Виктор Константинович

Медицинский радиологический научный центр им. А.Ф. Цыба

Адрес для переписки: 249036, Калужская обл., г. Обнинск, ул. Королева, 4; E-mail: nrer@obninsk.com

коз (ХЛЛ). При средней дозе облучения в когорте 0,2 Гр и средней дозе среди случаев лейкозов 0,64 Гр был обнаружен статистически значимый коэффициент избыточного относительного риска (ERR), равный 2,78/Гр с 95% доверительным интервалом (95% ДИ) от 1,84/Гр до 4,01/Гр: ERR=2,78 (95% ДИ: 1,84; 4,01) [4].

Результаты исследований в области малых доз и мощностей дозы немногочисленны, так как для таких исследований требуются когорты с большой численностью и длительным периодом наблюдения.

В когорте работников атомной промышленности Великобритании, численностью 174 541 человек, за период наблюдения 1955–2001 гг. было выявлено 234 случая заболеваемости лейкозами (исключая ХЛЛ). При средней дозе в когорте 0,025 Зв был обнаружен статистически значимый коэффициент избыточного относительного риска (ERR), равный 1,78/Гр с 90% доверительным интервалом (90% ДИ) от 0,17/Гр до 4,36/Гр: ERR/Гр = 1,78 (90% ДИ: 0,17; 4,36) [4].

В отношении исследований с низкой дозой и мощностью дозы следует упомянуть совместное исследование ядерных работников 15 стран, в котором основное внимание уделяется радиационным рискам лейкозов при длительном внешнем гамма-облучении. Общая средняя кумулятивная доза костного мозга (на человека) составляла около 0,02 Зв [5], что примерно в 5 раз меньше средней дозы в исследованной когорте российских ликвидаторов и в 10 раз меньше средней дозы в когорте LSS. Исследование включало 0,4 млн работников ядерной промышленности с 5,2 млн человеко-лет под наблюдением, 196 случаев смерти от лейкозов и привело к оценке ERR 1,93 на Зв, хотя статистически незначимо. Хронический лимфоцитарный лейкоз был исключен из анализа. Эти данные не показали зависимости от времени с момента воздействия. Следует отметить, что результаты исследования [5] подвергались критике в связи с большой гетерогенностью исследованной когорты.

В 1986 г. после аварии на Чернобыльской АЭС в СССР был создан Всесоюзный распределенный регистр лиц, подвергшихся радиационному воздействию в результате этой аварии, который с 1992 г. на территории России функционирует как Российский государственный медико-дозиметрический регистр (РГМДР, ныне НРЭР).

Данная работа является продолжением исследований, проводимых в НРЭР, по анализу лейкозов [6–12]. За период с 1986 по 2014 г. в распределении случаев лейкозов, по сравнению с исследованием за период 1986–2007 гг. [11], произошли изменения: добавились новые случаи заболеваний и смертей, уточнены диагнозы и даты их установления.

**Цель исследования** – оценка радиационного риска заболеваемости и смертности от лейкозов с учетом проверки данных о диагнозах лейкозов в когорте российских ликвидаторов аварии на Чернобыльской АЭС, а также подтверждение или опровержение ранее полученных радиационных рисков лейкозов, с учетом последних актуальных данных.

## Материалы и методы

### Описание когорты

В проведенном исследовании использованы медико-дозиметрические данные для лиц мужского пола из ше-

сти регионов России. По медицинским и дозиметрическим данным НРЭР для проведения исследования была сформирована ретроспективная когорта ликвидаторов со следующими характеристиками:

- мужчины, проживающие в шести регионах России (Северо-Западный, Северо-Кавказский, Волго-Вятский, Поволжский, Центрально-Чернозёмный и Уральский);
- наличие информации о состоянии здоровья за период с 26.04.1986 г. по 31.12.2014 г.;
- ликвидаторы 1986–1990 гг. въезда в зону облучения;
- возраст на момент въезда в зону работ от 18 до 65 лет включительно;
- ликвидаторы, имеющие официальные данные об индивидуальной дозе внешнего гамма-облучения всего тела.

Общее число ликвидаторов, удовлетворяющих описанным выше критериям, составило 78 110 человек.

В анализе была использована индивидуальная информация о дате рождения, дате приезда в зону работ, дате отъезда из зоны работ, дате последнего осмотра, дате диагноза (для случаев заболеваний лейкозами) и о документально подтвержденной дозе внешнего гамма-облучения всего тела. Была изучена заболеваемость лейкозами указанной когорты ликвидаторов (коды МКБ-10: C91-C95.9; D46.0-D46.9) за период с 1986 по 2014 г. Всего за рассматриваемый период времени выявлено 230 случаев заболеваний лейкозами среди ликвидаторов. В анализе использованы 157 случаев заболеваний, за исключением хронических лимфолейкозов.

Сбор и верификацию данных о случаях гемобластозов среди лиц, подвергшихся радиационному воздействию, проводили согласно специально разработанному в НРЭР многоуровневому алгоритму верификации диагноза «гемобластоз» [11]. На уровне НРЭР экспертизу первичных медицинских документов (контрольная карта больного онкологическим заболеванием, амбулаторная карта, история болезни, протокол патолого-анатомического вскрытия и т.п.), пересмотр цитологических и гистологических препаратов проводили специалисты Медицинского радиологического научного центра (МРНЦ) им. А.Ф. Цыба – филиала Национального медицинского исследовательского центра (НМИЦ) радиологии Минздрава России в области диагностики гемобластозов.

В таблице 1 приведена структура лейкозов у ликвидаторов за весь период наблюдения (с 1986 по 2014 г.).

На рисунке 1 показано распределение ликвидаторов по годам въезда в зону аварии. В 1986 и в 1987 гг. в ликвидации аварии приняли участие 30 133 и 30 651 человек соответственно, а в период с 1988 по 1990 гг. – 17 322.

На рисунке 2 показано распределение средней дозы облучения ликвидаторов в зависимости от возраста на момент въезда в зону. Средняя доза внешнего гамма-облучения всего тела, накопленная за период работ, составила 108 мГр. Средний возраст ликвидаторов на момент начала наблюдения составлял 34 года. Наибольшие дозы внешнего облучения получили ликвидаторы 1986 г. (средняя доза – 166 мГр). Средняя доза у ликвидаторов 1988–1990 гг. составила 35 мГр.

На рисунке 3 показана функция распределения дозы для ликвидаторов. На рисунке 3 видно, что самая многочисленная группа ликвидаторов (около 35%) имеют дозу облучения менее 50 мГр, еще около 25% имеют дозу об-

Таблица 1

Структура лейкозов у ликвидаторов (МКБ-10: C91-C95.9; D46.0-D46.9)

[Table 1]

Leukemia structure of the liquidators (ICD-10: C91-C95.9; D46.0-D46.9)

| Тип лейкоза<br>[Leukemia type] | МКБ-10 [ICD-10]                          | Количество случаев [Number of cases] |      |
|--------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------|------|
|                                |                                          | Абсолютное<br>[Absolute]             | %    |
| Все лейкозы [All leukemias]    | C91-C95.9; D46.0-D46.9                   | 230                                  | 100  |
| Все ОЛ [All AL]                | C91.0, C92.0, C92.4, C93.0, C94.0, C95.0 | 55                                   | 24,0 |
| МДС [MDS]                      | D46.0-D46.9                              | 3                                    | 1,3  |
| ХМЛ+ [CML+]                    | C92.1, C92.7, C92.9, C93.1, C94.3, C94.5 | 66                                   | 28,7 |
| ХЛЛ [CLL]                      | C90.1, C91.1, C91.4                      | 73                                   | 31,7 |
| Эритремия [Erythremia]         | C94.1                                    | 21                                   | 9,1  |

ОЛ – острые лейкозы; МДС – миелодиспластический синдром; ХМЛ+ – хронический миелолейкоз и его варианты; ХЛЛ – хронический лимфолейкоз.

[Note: AL – acute leukemia; MDS – myelodysplastic syndrome; CML+ – chronic myelogenous leukemia and its variants; CLL – chronic lymphocytic leukemia].



Рис. 1. Численность ликвидаторов в различные годы въезда в зону аварии  
[Fig. 1. The number of liquidators in different years of entry into the accident zone]



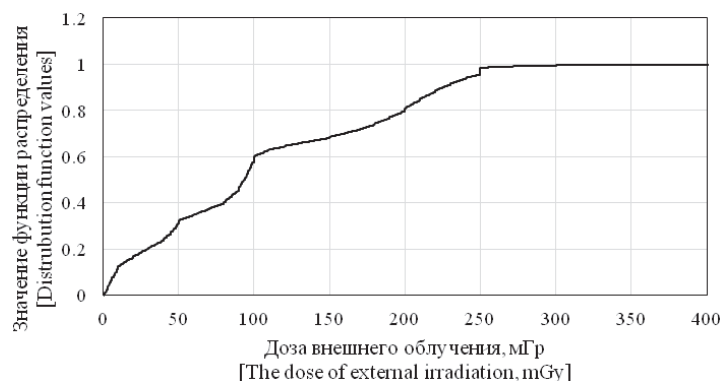
Рис. 2. Средняя доза внешнего облучения в различные годы въезда в зону аварии  
[Fig. 2. The average dose of external exposure in different years entrance to the accident zone]

лучения от 50 до 100 мГр, 2 группы по 10% имеют дозу облучения от 100 до 150 мГр и 150–200 мГр соответственно, оставшиеся 20% имеют дозу облучения более 200 мГр.

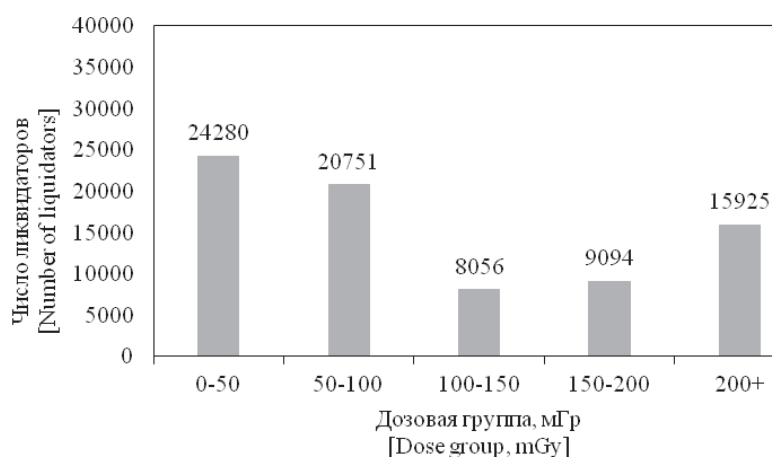
На рисунке 4 показано распределение ликвидаторов по дозовым группам. Наибольшая по численности группа (0–50 мГр (внутренний контроль) внешнего облучения) насчитывает 24 280 ликвидаторов. Основная часть ликвидаторов получили дозы от 0 до 100 мГр (около 45 000 че-

ловек), а более 100 мГр получили оставшиеся 33 000 ликвидаторов.

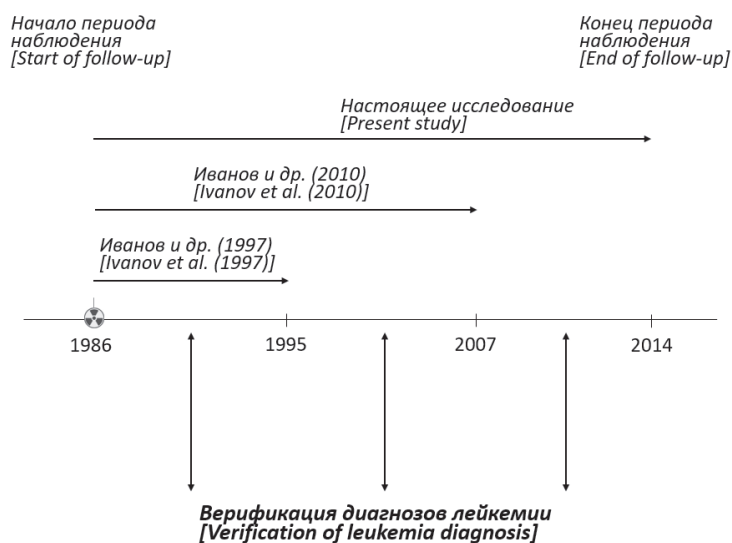
Ежегодно НРЭР получает информацию о новых диагнозах зарегистрированных ликвидаторов. Полученные данные проходят многоэтапную верификацию [10]. Таким образом, схему исследований, проводимых в НРЭР (на примере нескольких выполненных исследований), можно представить следующим образом (рис. 5).



**Рис. 3.** Функция распределения дозы внешнего облучения ликвидаторов  
[Fig. 3. Dose distribution function of external irradiation of liquidators]



**Рис. 4.** Численность ликвидаторов в различных дозовых группах  
[Fig. 4. Number of liquidators in different dose groups]



**Рис. 5.** Схема проведения радиационно-эпидемиологических исследований  
[Fig. 5. Model of conducting radiation-epidemiological studies]

*Схема проведения радиационно-эпидемиологического исследования зависимости заболеваемости лейкозами от дозы радиационного облучения*

Данная схема исследования позволяет получать результаты с учётом высокой степени надёжности обработки медико-дозиметрических данных. На каждом этапе верификации добавляются новые случаи заболеваемости, подтверждаются или снимаются ранее поставленные диагнозы.

*Статистические методы исследования зависимости заболеваемости лейкозами от дозы радиационного облучения*

Для исследования зависимости заболеваемости лейкозами от дозы радиационного облучения был использован когортный метод. При этом использовали индивидуальные данные о ликвидаторах, которые были стратифицированы следующим образом: 3 страты по возрасту ликвидаторов на момент приезда в чернобыльскую зону (18–29, 30–39, 40 и более лет); 4 страты по достигнутому возрасту (18–34, 35–39, 40–44, 45 и старше); 29 страт по календарному периоду с шагом в 1 год; страты по принадлежности к региональному центру НРЭР, число которых равнялось числу региональных центров в каждой из используемых когорт. Стратификация по возрасту проводилась с целью нивелирования влияния возрастных особенностей. Стратификация по календарному периоду проводилась с целью учёта изменения показателей заболеваемости во времени. Стратификация же по принадлежности к региональному центру проводилась для того, чтобы учесть различия в фоновых показателях в указанных регионах. Время нахождения каждого человека под риском заболеть любой из болезней исследуемого класса заболеваний (или конкретной исследуемой болезнью) вычисляется как разность дат  $T1$  и  $T0$ , где  $T0$  – время прибытия его в зону работ вокруг ЧАЭС и  $T1$  – дата последнего медицинского осмотра не заболевших лейкозами и не умерших для соответствующего исследуемого заболевания или дата смерти.

Оценку зависимости заболеваемости лейкозами от дозы внешнего облучения проводили с использованием Пуассоновской регрессии. Использовалась модель избыточного относительного риска (Excess Relative Risk – ERR) следующего вида:

$$\lambda(a, r, c, d) = \lambda_0(a, r, c) \cdot [1 + \rho(d)], \quad (1)$$

**Значения избыточного относительного риска (ERR) для заболеваемости лейкозами, исключая ХЛЛ**

**The values of excess relative risk (ERR) for leukemia incidence excluding CLL**

| Период наблюдения [Follow-up period]                     | Число случаев [Number of cases] | ERR/1 Гр [ERR/1 Gy] | 90% ДИ [90% CI] | p-value |
|----------------------------------------------------------|---------------------------------|---------------------|-----------------|---------|
| Настоящее исследование [Present study]                   |                                 |                     |                 |         |
| 1986–2014                                                | 157                             | 0,41                | -1,11; 2,69     | > 0,5   |
| 1986–1997                                                | 54                              | 4,17                | 0,18; 13,24     | 0,08    |
| 1998–2014                                                | 103                             | -0,94               | -2,07; 1,29     | 0,42    |
| Исследование лейкозов 2012 г. [11] [Leukemia study 2012] |                                 |                     |                 |         |
| 1986–2007                                                | 111                             | 0,44                | -1,68; 2,56     | > 0,5   |
| 1986–1997                                                | 51                              | 4,98                | 0,59; 14,47     | 0,04    |
| 1998–2007                                                | 60                              | -1,64               | -2,55; 0,57     | 0,2     |

где  $\lambda_0(a, r, c)$  – фоновая заболеваемость в когорте, не зависящая от дозы внешнего облучения;  $a$  – достигнутый возраст;  $r$  – регион России;  $c$  – календарный период;  $d$  – индивидуальная доза внешнего облучения в Гр.

При оценке радиационных рисков учитывался 2-летний латентный период индукции радиогенных заболеваний данной патологии.

Рассматривались линейная, квадратичная и линейно-квадратичная модели зависимости заболеваемости от дозы внешнего облучения:

$$\rho(d) = \begin{cases} \beta_1 \cdot d \\ \beta_1 \cdot d + \beta_2 \cdot d^2 \\ \beta_2 \cdot d^2 \end{cases} \quad (2)$$

Для оценки отличий в интенсивности заболеваемости лейкозами в различных дозовых группах использовалась модель относительного риска (Relative Risk – RR). В качестве контрольной группы (внутренний контроль) в исследовании относительного риска использовали данные ликвидаторов с дозой внешнего облучения в диапазоне от 0 до 50 мГр, а в качестве облучённых групп были рассмотрены данные о ликвидаторах с дозами внешнего облучения от 50 до 150 мГр, а также свыше 150 мГр.

Модель относительного риска имеет следующий вид:

$$\lambda = \lambda_0 \cdot \exp(\mu_n \cdot DGR), \quad (3)$$

где  $DGR$  – дозовые группы,  $RR = \exp(\mu_n \cdot DGR)$  – относительный риск для  $n$ -й облучённой дозовой группы ( $n=1$  для дозовой группы 50–150 мГр,  $n=2$  для ликвидаторов с дозой выше 150 мГр,  $n=0$  и  $RR_0=1$  для дозовой группы 0–50 мГр – контрольная группа),  $\mu_n$  – константа, оценённая с помощью EpiSure для каждой дозовой группы.

Максимизация функции правдоподобия, определение параметров для моделей (1, 3) и вычисление 90% доверительного интервала (ДИ) проводились с помощью программного пакета EpiSure [13].

## Результаты и обсуждение

Исходя из опыта японских и других зарубежных исследований, свидетельствующих об отсутствии радиационной зависимости в отношении хронического лимфолейкоза (ХЛЛ) [2], был проведён анализ радиационных рисков с исключением таких случаев.

В таблице 2 приведены результаты проведённых исследований дозовой зависимости заболеваемости лей-

Таблица 2

[Table 2]

козами (исключая ХЛЛ) по линейной модели. Здесь показаны значения избыточного относительного риска на единицу дозы 1 Гр (ERR/Гр) в зависимости от рассматриваемого календарного периода и возраста на момент облучения.

Как видно из таблицы 2, для всех случаев заболевания лейкозами (исключая ХЛЛ) в период с 1986 по 2014 г. статистически значимый риск радиогенных случаев лейкозов не установлен (ERR/Гр=0,41; 90% ДИ: -1,11; 2,69;  $p>0,5$ ).

В результате исследования избыточного относительного риска установлено, что для периода наблюдения с 1986 по 1997 г. доза внешнего облучения является статистически значимым фактором риска в индукции заболеваний лейкозами (ERR/Гр=4,17; 90% ДИ: 0,18; 13,24;  $p=0,08$ ). Для периода наблюдения с 1998 по 2014 г. не установлено статистически значимой зависимости заболеваемости лейкозами от дозы внешнего облучения (ERR/Гр=-0,94; 90% ДИ: -2,07; 1,29;  $p=0,42$ ).

В таблице 3 представлены результаты оценки величины относительного риска (RR) для различных дозовых групп.

Как видно из таблицы 3, для периода наблюдения с 1986 по 1997 г. выявлен статистически значимый относи-

тельный риск заболеваемости лейкозами для ликвидаторов с дозой внешнего облучения от 150 мГр (RR=1,68; 90% ДИ: 1,00; 2,89), контрольная группа – ликвидаторы с дозой от 0 до 50 мГр.

В таблице 4 представлены результаты оценки параметров моделей дозовой зависимости ( $p(d)$ , ур. (1)) заболеваемости ликвидаторов лейкозами для периода наблюдения с 1986 по 1997 г. Для сравнения были выбраны 3 модели дозовой зависимости (ур. (2)).

На рисунке 6 представлена зависимость избыточного относительного риска для описанных моделей (ур. 2) от дозы облучения.

Из функции распределения дозы (см. рис. 3) видно, что более 95% облучённых ликвидаторов имеют дозу внешнего облучения меньше 250 мГр. Статистически значимых различий между тремя исследованными моделями дозовой зависимости обнаружено не было ( $p\text{-value} > 0,05$ ). Поэтому, несмотря на то, что оценки линейно-квадратичной и квадратичной модели дозовой зависимости лежат в пределах доверительных интервалов точечных оценок радиационного риска, для выбранной когорты ликвидаторов линейная модель дозовой зависимости ( $p(d)=\beta_1 \times D$ ; ур. 2) дает более консервативную оценку риска (с запасом) в области малых доз (до 200 мГр).

Значения RR для заболеваний лейкозами, исключая ХЛЛ

Таблица 3

[Table 3]

RR values of leukemia incidence excluding CLL

| Период наблюдения<br>[Follow-up period] | Дозовая группа, мГр<br>[Dose group, mGy] | Средняя доза,<br>мГр [Average dose,<br>mGy] | Число случаев<br>[Number of cases] | RR   | 90% ДИ<br>[90% CI] |
|-----------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------|------|--------------------|
| 1986–2014 ( $p>0,5$ )                   | 0–50                                     | 21,6                                        | 49                                 | 1    |                    |
|                                         | 50–150                                   | 91,4                                        | 51                                 | 0,89 | 0,64; 1,24         |
|                                         | 150+                                     | 212,0                                       | 57                                 | 1,15 | 0,83; 1,58         |
| 1986–1997 ( $p=0,08$ )                  | 0–50                                     | 21,6                                        | 16                                 | 1    |                    |
|                                         | 50–150                                   | 91,3                                        | 12                                 | 0,65 | 0,34; 1,21         |
|                                         | 150+                                     | 212,0                                       | 26                                 | 1,68 | 1,00; 2,89         |
| 1998–2014 ( $p=0,42$ )                  | 0–50                                     | 21,6                                        | 33                                 | 1    |                    |
|                                         | 50–150                                   | 91,4                                        | 39                                 | 1,01 | 0,69; 1,50         |
|                                         | 150+                                     | 212,3                                       | 31                                 | 0,94 | 0,62; 1,42         |

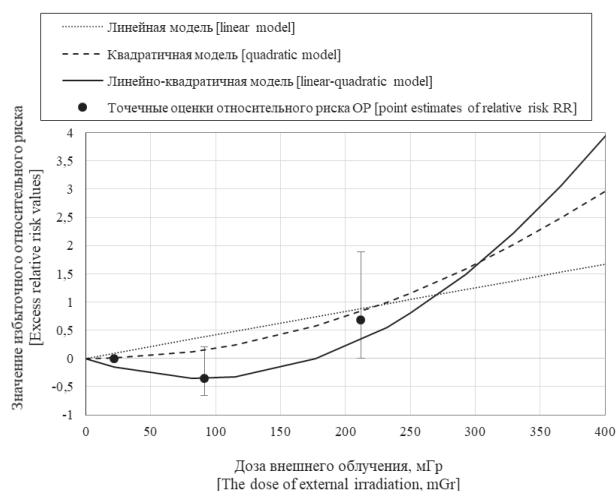
Значения оценок параметров моделей дозовой зависимости заболеваемости ликвидаторов лейкозами

Таблица 4

[Table 4]

The parameter estimated values of the dose-dependence models of leukemia incidence

| Модель дозовой зависимости<br>[Dose dependence models]  | Параметр $\beta_1$ ,<br>(90% ДИ)<br>[Parameter $\beta_1$ , (90% CI)] | Параметр $\beta_2$ ,<br>(90% ДИ)<br>[Parameter $\beta_2$ , (90% CI)] | Девияция [Deviation] | p-value |
|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------|---------|
| Линейная модель<br>[Linear model]                       | 4,17 (0,18; 13,24)                                                   | –                                                                    | 459,18               | 0,08    |
| Квадратичная модель<br>[Quadratic model]                | –                                                                    | 18,53 (2,79; 46,12)                                                  | 458,03               | 0,04    |
| Линейно-квадратичная модель<br>[Linear-quadratic model] | -7,90 (-13,6; 6,16)                                                  | 44,38 (-3,72; 73,59)                                                 | 456,74               | 0,06    |



**Рис. 6.** Динамика избыточного риска заболеваемости ликвидаторов лейкозами для различных моделей дозовой зависимости

[Fig. 6. Excess risk dynamics of leukemia incidence of liquidators for various models of dose dependence]

#### Оценка радиационных рисков смертности ликвидаторов от лейкозов

Для анализа радиационных рисков смертности ликвидаторов от лейкозов сформирована когорта численностью 78 094 человека. Для формирования когорты были выбраны те же критерии, что использовались в анализе заболеваемости, описанные в разделе «Материалы и методы».

В анализе была использована индивидуальная информация о дате рождения, дате приезда в зону работ, дате отъезда из зоны работ, дате последнего осмотра, дате смерти и документально подтвержденной дозе внешнего гамма-облучения всего тела. Была изучена смертность от лейкозов указанной когорты ликвидаторов (коды МКБ-10: C91-C95.9; D46.0-D46.9) за период с 1986 по 2014 г. Всего за рассматриваемый период времени выявлено 102 слу-

чая смерти от лейкозов среди ликвидаторов. В анализе использованы 73 случая смерти за исключением хронических лимфолейкозов.

Как и в анализе заболеваемости, верификация смертей от лейкозов проводилась согласно специальному алгоритму верификации, разработанному в НРЭР и представленному в работе [11].

В таблице 5 приведена структура смертности от лейкозов у ликвидаторов за весь период наблюдения (с 1986 по 2014 г.).

Анализ радиационных рисков смертности от лейкозов не выявил статистически значимых радиационных рисков.

В таблице 6 представлены результаты оценки величины относительного риска (RR) смертности от лейкозов для различных периодов наблюдения за когортой и дозовых групп.

Статистически значимых относительных рисков смертности от лейкозов для ликвидаторов не выявлено ни для одного из периодов наблюдения за когортой.

Впервые анализ радиационных рисков заболеваемости лейкозами в когорте чернобыльских ликвидаторов из России был выполнен за период 1986–1995 гг. в работе [6], где использован когортный метод исследования с внешним контролем. В работе [7] исследовался метод случай – контроль. Статистически значимых рисков в данном исследовании выявлено не было, но был показан положительный тренд в зависимости относительного риска от дозы.

В украинско-американском исследовании заболеваемости лейкозами ликвидаторов, проживающих на Украине [14], было показано, что доза внешнего облучения является статистически значимым фактором риска ( $p < 0,01$ ). Величина избыточного относительного риска составила 3,44 на 1 Гр с 95% ДИ от 0,47 до 9,78.

В 2012 г. нами была опубликована работа по оценке радиационных рисков заболеваемости лейкозами в когорте российских ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС [11] с периодом наблюдения за когортой 1986–2007 гг. В работе была получена оценка избыточного относительного риска для ликвидаторов за период наблюдения

Таблица 5

#### Структура смертности от лейкозов у ликвидаторов (МКБ-10: C91-C95.9; D46.0-D46.9)

[Table 5]

#### Structure of leukemia mortality in the liquidators (ICD10: C91-C95.9; D46.0-D46.9)]

| Тип лейкозов<br>[Leukemia type] | МКБ-10 [ICD-10]                          | Количество случаев [Number of cases] |      |
|---------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------|------|
|                                 |                                          | Абсолютное<br>[Absolute]             | %    |
| Все лейкозы [All leukemias]     | C91-C95.9; D46.0-D46.9                   | 102                                  | 100  |
| Все ОЛ [All AL]                 | C91.0, C92.0, C92.4, C93.0, C94.0, C95.0 | 38                                   | 37,3 |
| МДС [MDS]                       | D46.0-D46.9                              | 1                                    | 1,0  |
| ХМЛ+ [CML+]                     | C92.1, C92.7, C92.9, C93.1, C94.3, C94.5 | 27                                   | 26,5 |
| ХЛЛ [CLL]                       | C90.1, C91.1, C91.4                      | 29                                   | 28,4 |
| Эритремия [Erythremia]          | C94.1                                    | 4                                    | 3,9  |

ОЛ – острые лейкозы; МДС – миелодиспластический синдром; ХМЛ+ – хронический миелолейкоз и его варианты; ХЛЛ – хронический лимфолейкоз.

[AL – acute leukemia; MDS – myelodysplastic syndrome; CML+ – chronic myelogenous leukemia and its variants; CLL – chronic lymphocytic leukemia].

Таблица 6

## Значения RR для смертности от лейкозов, исключая ХЛЛ

[Table 6]

## RR values for leukemia mortality excluding CLL

| Период наблюдения<br>[Follow-up period] | Дозовая группа,<br>мГр<br>[Dose group, mGy] | Средняя доза,<br>мГр<br>[Average dose,<br>mGy] | Число случаев<br>[Number of cases] | RR   | 90% ДИ<br>[90% CI] |
|-----------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------|------|--------------------|
| 1986–1992 гг. ( $p>0,5$ )               | 0–50                                        | 21,7                                           | 1                                  | 1    |                    |
|                                         | 50–150                                      | 91,4                                           | 2                                  | 0,60 | 0,04; 2,11         |
|                                         | 150+                                        | 211,7                                          | 1                                  | 1,39 | 0,20; 2,78         |
| 1986–1997 гг. ( $p=0,31$ )              | 0–50                                        | 21,7                                           | 8                                  | 1    |                    |
|                                         | 50–150                                      | 91,4                                           | 5                                  | 0,48 | 0,16; 1,29         |
|                                         | 150+                                        | 211,7                                          | 4                                  | 0,53 | 0,20; 1,34         |
| 1998–2002 гг. ( $p=0,33$ )              | 0–50                                        | 21,7                                           | 15                                 | 1    |                    |
|                                         | 50–150                                      | 91,3                                           | 11                                 | 0,71 | 0,36; 1,36         |
|                                         | 150+                                        | 211,8                                          | 11                                 | 0,62 | 0,32; 1,19         |
| 1986–2007 гг. ( $p=0,37$ )              | 0–50                                        | 21,6                                           | 21                                 | 1    |                    |
|                                         | 50–150                                      | 91,3                                           | 19                                 | 0,78 | 0,45; 1,33         |
|                                         | 150+                                        | 211,9                                          | 17                                 | 0,76 | 0,45; 1,29         |
| 1986–2014 гг. ( $p=0,19$ )              | 0–50                                        | 21,6                                           | 28                                 | 1    |                    |
|                                         | 50–150                                      | 91,4                                           | 23                                 | 0,76 | 0,47; 1,21         |
|                                         | 150+                                        | 212,0                                          | 22                                 | 0,69 | 0,43; 1,10         |

1986–1997 гг. ERR/Гр=4,98 (90% ДИ: 0,59; 14,47;  $p=0,04$ ).

В исследовании хронических лимфоцитарных лейкозов (ХЛЛ) и других лейкозов среди украинских ликвидаторов чернобыльской аварии [15] была обнаружена статистически значимая линейная дозовая зависимость для всех лейкозов [137 случаев, ERR/1 Гр = 1,26 (95% ДИ: 0,03; 3,58)]. Получены статистически не значимые положительные дозовые зависимости для ХЛЛ и не-ХЛЛ (ERR/1 Гр = 0,76 и 1,87 соответственно). В первичном анализе исключены 20 случаев прямого осмотра (<2 лет от начала химиотерапии) с аномальным значением ERR/1 Гр = -0,47 (95% ДИ: <-0,47; 1,02), ERR/1 Гр для остальных 117 случаев составил 2,38 (95% ДИ: 0,49; 5,87). Для ХЛЛ ERR/1 Гр = 2,58 (95% ДИ: 0,02; 8,43), а для не-ХЛЛ ERR/1 Гр = 2,21 (95% ДИ: 0,05; 7,61). В общей сложности 16% случаев лейкозов (18% ХЛЛ, 15% не-ХЛЛ) были связаны с радиационным воздействием.

Для российских ликвидаторов не было найдено статистически значимых оценок радиационных рисков ХЛЛ [73 случая: период наблюдения 1986–2014 гг., ERR/1 Гр = -1,24 (90% ДИ: -1,46; 0,02)], [22 случая: период наблюдения 1986–1997 гг., ERR/1 Гр = -1,02 (90% ДИ: -0,99; 11,88)].

Результатом данного исследования стала статистически значимая оценка избыточного относительного риска для ликвидаторов за период наблюдения 1986–1997 гг. ERR/Гр=4,17 (90% ДИ: 0,18; 13,24;  $p=0,08$ ). По сравнению с предыдущим исследованием увеличен период наблюдения и увеличилось число выявленных случаев лейкозов.

Оценки ERR, полученные по линейной модели, находятся в согласии с соответствующими оценками в до-

зовых группах, с учетом доверительных интервалов этих двух типов оценок.

Следует отметить, что в исследовании не рассматривалась зависимость радиационного риска заболеваемости лейкозами от наличия мешающих факторов (курения, алкоголя и пр.), генетической предрасположенности, других факторов внешнего или внутреннего воздействия (например, долговременное взаимодействие с некоторыми токсичными химическими веществами) и т.д. В рамках когортного исследования осуществить учёт зависимостей вышеописанных факторов риска практически невозможно в связи с ограниченным бюджетом исследования.

## Заключение

По результатам проведённых исследований можно сделать следующие основные выводы:

Показано, что относительный риск (RR) заболеваемости радиогенными лейкозами для ликвидаторов с дозой внешнего облучения от 150 мГр в период наблюдения с 1986 по 1997 гг. статистически значимо превышает единицу (RR=1,68; 90% ДИ: 1,00; 2,89).

В рамках модели линейной дозовой зависимости заболеваемости лейкозами от дозы внешнего облучения ликвидаторов в период наблюдения с 1986 по 1997 г. избыточный относительный риск на единицу дозы (ERR/1 Гр) равен 4,17 (90% ДИ: 0,18; 13,24).

Статистически значимой зависимости заболеваемости лейкозами от дозы внешнего облучения за период наблюдения с 1998 по 2014 гг. не установлено.

Полученные оценки свидетельствуют о том, что статистически значимая избыточная заболеваемость лейкозами, которая может быть связана с внешним гам-

ма-облучением в когорте ликвидаторов из России, наблюдается в первое десятилетие после облучения.

Статистически значимой зависимости смертности от лейкозов от дозы внешнего облучения не выявлено. Статистически значимых радиационных рисков смертности от лейкозов также не выявлено ни для одного периода наблюдения за когортой.

## Литература

- Каприн, А.Д. Злокачественные новообразования в России в 2014 году (заболеваемость и смертность) / А.Д. Каприн, В.В. Старинский, Г.В. Петрова. – М.: МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, 2018. – 250 с.
- Preston, D.L. [et al.] Cancer incidence in atomic bomb survivors. Part III. Leukemia, lymphoma and multiple myeloma, 1950-1987. *Radiat. Res.*, 1994, V. 137, pp. S68-S97.
- Hsu, W.L. [et al.] The incidence of leukemia, lymphoma, and multiple myeloma among atomic bomb survivors: 1950-2001. *Radiat. Res.*, 2013, V. 179, N 3, pp. 361-382.
- Muirhead, C.R. [et al.] Mortality and cancer incidence following occupational radiation exposure: third analysis of the National Registry for Radiation Workers. *Br. J. Cancer*, 2009, V. 100, N 1, pp. 206-212.
- Cardis, E. [et al.] Risk of cancer after low doses of ionising radiation: retrospective cohort study in 15 countries. *BMJ*, 2005, V. 331, pp. 77-82.
- Иванов, В.К. Лейкозы и рак щитовидной железы у участников ликвидации последствий чернобыльской катастрофы: оценка радиационных рисков (1986-1995) / В.К. Иванов [и др.] // Радиация и риск. – 1996. – Вып. 8. – С. 47-58.
- Ivanov, V.K. [et al.] Case-control analysis of leukaemia among Chernobyl accident emergency workers residing in the Russian Federation, 1986-1993. *J. Radiol. Prot.*, 1997, V. 17, N 3, pp. 137-157.
- Ivanov, V.K. [et al.] Leukaemia and thyroid cancer in emergency workers of the Chernobyl accident: estimation of radiation risks (1986-1995). *Radiat. Environ. Biophys.*, 1997, V. 36, pp. 9-16.
- Konogorov, A.P. [et al.] A case-control analysis of leukemia in accident emergency workers of Chernobyl. *J. Environ. Pathol. Toxicol. Oncol.*, 2000, V. 19, N 1-2, pp. 143-151.
- Ivanov, V.K. [et al.] Radiation risks of leukaemia among Russian liquidators in the period since 1986 till 1997. *Int. J. of Radiation Medicine*, 2001, V. 3, N 3-4, pp. 46-60.
- Ivanov, V.K. [et al.] Leukemia incidence in the Russian cohort of Chernobyl emergency workers. *Radiat. Environ. Biophys.*, 2012, V. 51, N 2, pp. 143-149.
- Иванов, В.К. Заболеваемость раком щитовидной железы и лейкозами детского и подросткового населения Брянской области после аварии на ЧАЭС: оценка радиационных рисков / В.К. Иванов [и др.] // Вопросы онкологии. – 2003. – Т. 49, № 4. – С. 445-449.
- Preston D.L., Lubin J.H., Pierce D.A. *EPICURE User's Guide*. Seattle: Hirosoft International Corp., 1993, 330 p.
- Romanenko, A.Ye. [et al.] The Ukrainian-American study of leukemia and related disorders among Chernobyl cleanup workers from Ukraine: III. Radiation risks. *Radiat. Res.*, 2008, V. 170, pp. 711-720.
- Zablotska, L.B. Radiation and the risk of chronic lymphocytic and other leukemias among Chernobyl cleanup workers. *Environ. Health Perspect.*, 2013, V. 121, N 1, pp. 59-65.

Поступила: 26.09.2018 г.

**Иванов Виктор Константинович** – заместитель директора по научной работе медицинского радиологического научного центра им. А.Ф. Цыба – филиала Национального медицинского исследовательского центра радиологии Министерства здравоохранения Российской Федерации, председатель РНКРЗ, член-корреспондент РАН. **Адрес для переписки:** 249036, Калужская обл., г. Обнинск, ул. Королева, д. 4; E-mail: nrer@obninsk.com

**Касцев Валерий Владимирович** – кандидат биологических наук, заведующий лабораторией оценки радиационных рисков медицинского радиологического научного центра им. А.Ф. Цыба – филиала Национального медицинского исследовательского центра радиологии Министерства здравоохранения Российской Федерации, Обнинск, Россия

**Карпенко Сергей Викторович** – инженер лаборатории оценки радиационных рисков медицинского радиологического научного центра им. А.Ф. Цыба – филиала Национального медицинского исследовательского центра радиологии Министерства здравоохранения Российской Федерации, Обнинск, Россия

**Глебова Светлана Евгеньевна** – кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник отделения лабораторной диагностики медицинского радиологического научного центра им. А.Ф. Цыба – филиала Национального медицинского исследовательского центра радиологии Министерства здравоохранения Российской Федерации, Обнинск, Россия

**Туманов Константин Александрович** – кандидат биологических наук, заведующий лабораторией научно-методического сопровождения радиологических регистров и банков данных медицинского радиологического научного центра им. А.Ф. Цыба – филиала Национального медицинского исследовательского центра радиологии Министерства здравоохранения Российской Федерации, Обнинск, Россия

**Чекин Сергей Юрьевич** – заведующий лабораторией оптимизации радиологической защиты медицинского радиологического научного центра им. А.Ф. Цыба – филиала Национального медицинского исследовательского центра радиологии Министерства здравоохранения Российской Федерации, Обнинск, Россия

**Максютов Марат Адильевич** – кандидат технических наук, заведующий отделом радиологических информационных технологий медицинского радиологического научного центра им. А.Ф. Цыба – филиала Национального медицинского исследовательского центра радиологии Министерства здравоохранения Российской Федерации, Обнинск, Россия

**Корело Александр Михайлович** – старший научный сотрудник лаборатории информационных технологий в радиационной эпидемиологии и медицинской радиологии медицинского радиологического научного центра им. А.Ф. Цыба – филиала Национального медицинского исследовательского центра радиологии Министерства здравоохранения Российской Федерации, Обнинск, Россия

**Ловачев Сергей Сергеевич** – младший научный сотрудник лаборатории оптимизации радиологической защиты медицинского радиологического научного центра им. А.Ф. Цыба – филиала Национального медицинского исследовательского центра радиологии Министерства здравоохранения Российской Федерации, Обнинск, Россия

**Иванов Сергей Анатольевич** – доктор медицинских наук, профессор, директор медицинского радиологического научного центра им. А.Ф. Цыба – филиала Национального медицинского исследовательского центра радиологии Министерства здравоохранения Российской Федерации, Обнинск, Россия

**Каприн Андрей Дмитриевич** – доктор медицинских наук, академик РАН, профессор, генеральный директор Национального медицинского исследовательского центра радиологии Министерства здравоохранения Российской Федерации, Обнинск, Россия

**Для цитирования:** Иванов В.К., Кашеев В.В., Карпенко С.В., Глебова С.Е., Туманов К.А., Чекин С.Ю., Максютов М.А., Корело А.М., Ловачев С.С., Иванов С.А., Каприн А.Д. Заболеваемость и смертность от лейкозов участников ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС: оценка радиационных рисков за период наблюдения с 1986 по 2014 г. // Радиационная гигиена. – 2018. – Т. 11, № 4. – С. 7-17. DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-4-7-17

## Leukemia incidence and mortality of recovery operation workers of the Chernobyl accident: assessment of radiation risks for the follow-up period of 1986–2014

Viktor K. Ivanov<sup>1</sup>, Valeriy V. Kashcheev<sup>1</sup>, Sergey V. Karpenko<sup>1</sup>, Svetlana E. Glebova<sup>1</sup>, Konstantin A. Tumanov<sup>1</sup>, Sergey Yu. Chekin<sup>1</sup>, Marat A. Maksyutov<sup>1</sup>, Aleksandr M. Korelo<sup>1</sup>, Sergey S. Lovachev<sup>1</sup>, Sergey A. Ivanov<sup>1</sup>, Andrey D. Kaprin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>A. Tsyb Medical Radiation Research Center, Obninsk, Russia

<sup>2</sup>National Medical Research Radiological Center, Ministry of Health of the Russian Federation, Obninsk, Russia

*Leukemia incidence in the cohort of Russian male recovery operation workers (liquidators) was estimated at 78110 people for the follow-up period 1986–2014. The average age of the liquidators at the time of entry into the zone of works for liquidation of the Chernobyl accident was 34 years. Radiation risk of leukemia incidence (with the exception of chronic lymphocytic leukemia) was analyzed for liquidators who had official data on the individual dose of external gamma radiation of the entire body accumulated over the period of work. During the follow-up period, 157 cases of leukemia were detected (with the exception of chronic lymphocytic leukemia). Collection and verification of data of hemoblastoses cases among persons exposed to radiation exposure was carried out according to a specially developed algorithm. The average dose of the liquidators was 108 mGy. During the period 1986–1997 was established a statistically significant ( $p < 0.05$ ) linear dose dependence of the leukemia incidence with an excess relative risk of  $ERR/Gy = 4.17$  (90% CI: 0.18, 13.24). From 1998 until the end of the follow-up period, as well as for the entire follow-up period (from 1986 to 2014), no statistically significant estimates of excess relative risk were found. For mortality, no statistically significant estimates of excess relative risk and relative risk were found for any of the observation periods. The obtained estimates of the radiation risk of morbidity indicate that a statistically significant excess leukemia incidence of liquidators, which may be associated with external gamma irradiation, is manifested in the first decade after exposure.*

**Key words:** cohort studies, incidence of leukemia, mortality, cohort of male liquidators, follow-up period, excess relative risk, radiation risk, dose of radiation, dose dependence, dose dependence model, verification algorithm.

**Viktor K. Ivanov**

Medical radiological scientific center after A.F. Tsyb

**Address for correspondence:** Koroleva str., 4, Obninsk, Kaluga region, 249036, Russia; E-mail: nrer@obninsk.com

## References

1. Kaprin A.D. [et al.] Malignant neoplasms in Russia in 2014. Moscow, MSOI of P.A. Herzen – branch of the FSBI «NMRC of radiology» of the Russian Ministry of Health, 2018, 250 p. (In Russian)
2. Preston D.L. [et al.] Cancer incidence in atomic bomb survivors. Part III. Leukemia, lymphoma and multiple myeloma, 1950-1987. *Radiat. Res.*, 1994, vol. 137, pp. S68-S97.
3. Hsu W.L. [et al.] The incidence of leukemia, lymphoma, and multiple myeloma among atomic bomb survivors: 1950-2001. *Radiat. Res.*, 2013, vol. 179, no. 3, pp. 361-382.
4. Muirhead C.R. [et al.] Mortality and cancer incidence following occupational radiation exposure: third analysis of the National Registry for Radiation Workers. *Br. J. Cancer*, 2009, vol. 100, no. 1, pp. 206-212.
5. Cardis E. [et al.] Risk of cancer after low doses of ionising radiation: retrospective cohort study in 15 countries. *BMJ*, 2005, vol. 331, pp. 77-82.
6. Ivanov V.K. [et al.] Leukaemia and thyroid cancer in emergency workers of the Chernobyl accident: estimation of radiation risks (1986-1995). *Radiatsiya i risk = Radiation and risk*, 1996, vol. 8, pp. 47-58. (In Russian)
7. Ivanov V.K. [et al.] Case-control analysis of leukaemia among Chernobyl accident emergency workers residing in the Russian Federation, 1986-1993. *J. Radiol. Prot.*, 1997, vol. 17, no. 3, pp. 137-157.
8. Ivanov V.K. [et al.] Leukaemia and thyroid cancer in emergency workers of the Chernobyl accident: estimation of radiation risks (1986-1995). *Radiat. Environ. Biophys.*, 1997, vol. 36, pp. 9-16.
9. Konogorov A.P. [et al.] A case-control analysis of leukemia in accident emergency workers of Chernobyl. *J. Environ. Pathol. Toxicol. Oncol.*, 2000, vol. 19, no. 1-2, pp. 143-151.
10. Ivanov V.K. [et al.] Radiation risks of leukaemia among Russian liquidators in the period since 1986 till 1997. *Int. J. of Radiation Medicine*, 2001, vol. 3, no. 3-4, pp. 46-60.
11. Ivanov V.K. [et al.] Leukemia incidence in the Russian cohort of Chernobyl emergency workers. *Radiat. Environ. Biophys.*, 2012, vol. 51, no. 2, pp. 143-149.
12. Ivanov V.K. [et al.] Morbidity of thyroid cancer and leukemia of children and adolescents in the Bryansk region after the Chernobyl accident: an assessment of radiation risks. *Voprosy onkologii = Oncology issues*, 2003, vol. 49, no. 4, pp. 445-449. (In Russian)
13. Preston D.L., Lubin J.H., Pierce D.A. *EPICURE User's Guide*. Seattle, Hirosoft International Corp., 1993, 330 p.
14. Romanenko A.Ye. [et al.] The Ukrainian-American study of leukemia and related disorders among Chernobyl cleanup workers from Ukraine: III. Radiation risks. *Radiat. Res.*, 2008, vol. 170, pp. 711-720.
15. Zablotska L.B. [et al.] Radiation and the risk of chronic lymphocytic and other leukemias among Chernobyl cleanup workers. *Environ. Health Perspect.*, 2013, vol. 121, no. 1, pp. 59-65.

Received: September 26, 2018

**For correspondence: Viktor K. Ivanov** – Deputy director for science of the medical radiological scientific center after A.F. Tsyb – subdivision of the National medical research center of radiology of Ministry of Healthcare of the Russian Federation, head of Russian national committee on the radiation safety, corresponding member of the Russian Academy of Science (Koroleva str., 4, Obninsk, Kaluga region, 249036, Russia; E-mail: nrer@obninsk.com)

**Valeriy V. Kashcheev** – PhD, head of the radiation risk assessment laboratory, medical radiological scientific center after A.F. Tsyb – subdivision of the National medical research center of radiology of Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Obninsk, Russia

**Sergey V. Karpenko** – Engineer of the radiation risk assessment laboratory, medical radiological scientific center after A.F. Tsyb – subdivision of the National medical research center of radiology of Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Obninsk, Russia

**Svetlana E. Glebova** – MD, PhD, scientist of the department of the laboratory diagnostics, medical radiological scientific center after A.F. Tsyb – subdivision of the National medical research center of radiology of Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Obninsk, Russia

**Konstantin A. Tumanov** – PhD, head of the laboratory of scientific-methodical maintenance of radiological registers and data banks, medical radiological scientific center after A.F. Tsyb – subdivision of the National medical research center of radiology of Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Obninsk, Russia

**Sergey Yu. Chekin** – Head of the laboratory of the optimization of the radiological protection, medical radiological scientific center after A.F. Tsyb – subdivision of the National medical research center of radiology of Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Obninsk, Russia

**Marat A. Maksyutov** – PhD, head of the department of the information technologies, medical radiological scientific center after A.F. Tsyb – subdivision of the National medical research center of radiology of Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Obninsk, Russia

**Aleksandr M. Korelo** – Senior scientist of the laboratory of the information technologies in radiation epidemiology and medical radiology, medical radiological scientific center after A.F. Tsyb – subdivision of the National medical research center of radiology of Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Obninsk, Russia

**Sergey S. Lovachev** – Junior scientist of the laboratory of the optimization of the radiological protection, medical radiological scientific center after A.F. Tsyb – subdivision of the National medical research center of radiology of Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Obninsk, Russia

**Sergey A. Ivanov** – Doctor of medical sciences, professor, head of medical radiological scientific center after A.F. Tsyb – subdivision of the National medical research center of radiology of Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Obninsk, Russia

**Andrey D. Kaprin** – Doctor of medical sciences, academic of Russian Academy of science, professor, CEO of the National medical research center of radiology of Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Obninsk, Russia

**For citation: Ivanov V.K., Kashcheev V.V., Karpenko S.V., Glebova S.E., Tumanov K.A., Chekin S.Yu., Maksyutov M.A., Korelo A.M., Lovachev S.S., Ivanov S.A., Kaprin A.D. Leukemia incidence and mortality of recovery operation workers of the Chernobyl accident: assessment of radiation risks for the follow-up period of 1986-2014. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*, 2018, Vol. 11, No. 4, pp. 7–17. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-4-7-17**

## Радиозкологические исследования после завершения разведочных работ на Томторском редкометалльном месторождении (Республика Саха (Якутия))

В.В. Касаткин, А.В. Касаткин, В.А. Ильичев, Н.С. Седов, Е.М. Василенко, С.В. Евдокимов

Госкорпорация Росатом, Акционерное Общество «ВНИПИпромтехнологии», Москва, Россия

*В 2017 г. специалистами лаборатории радиационной безопасности Акционерного Общества «ВНИПИпромтехнологии» было проведено радиозкологическое исследование участков «Буранный», «Северный» и «Южный» на территории Томторского редкометалльного месторождения (северная часть Оленекского улуса Республики Саха (Якутия)). К этому времени на месторождении были завершены геологоразведочные работы с оценкой радиационной обстановки. В связи с тем, что объем полученной информации оказался недостаточным для всестороннего анализа и прогноза радиационной обстановки, а оценка ведущих радиационных факторов противоречила представлениям о роли техногенного излучения, было решено провести дополнительное радиозкологическое обследование на месторождении и на прилегающей к нему территории. Целью исследования являлась оценка текущего состояния радиационной и экологической обстановки в окрестностях площадок буровых разведочных скважин и производственных помещений на Томторском месторождении с установлением сравнительной роли техногенного и природного факторов. Программа исследований включала в себя полевые и лабораторные работы: гамма-съемка территории, измерение плотности потока альфа- и бета-частиц, гамма-спектрометрические измерения, отбор проб окружающей среды, остатков бурового шлама и керна, проведение исследований содержания природных и техногенных радионуклидов, а также отдельных химических элементов в отобранных пробах. По результатам исследований сделан вывод о нормальной радиационной обстановке в целом на территории месторождения и отсутствии дополнительного облучения населения. Отдельные локальные радиоактивные загрязнения были связаны с техногенным воздействием на экологию месторождения при выполнении разведочного бурения с извлечением на поверхность площадок радиоактивного керна из рудного тела. При этом дополнительное облучение людей для наиболее вероятного гипотетического сценария не превысит пределов допустимых нормативных доз.*

**Ключевые слова:** радиозкологическое исследование, природные радионуклиды, техногенное воздействие, мощность дозы, тяжелые металлы, Томторское редкометалльное месторождение.

### Введение

Томторское редкометалльное месторождение находится на северо-западе республики Саха (Якутия) в пределах Оленекского улуса, в 400 км к югу от побережья моря Лаптевых, на водоразделе рек Уджа и Чымара. Ближайшие населенные пункты – села Саскылах и Жилинда.

Массив Томтор был выявлен в 1959 г. геологами НИИГА С.А. Гулиным и Э.Л. Эрлихом. Поисково-оценочные работы на ниобий и прочие редкоземельные металлы начались в 1985 г. Интенсивное разведочное бурение с созданием кернохранилищ началось после 2010 г.

На данный момент на территории Томторского месторождения закончилась геологоразведка компанией «Восток-Инжиниринг» [1–10]. В ближайшем будущем запланирована подготовка технического проекта и проектов оценки воздействия на экологическую и этнологи-

ческую среду, проектирование и строительство объектов инфраструктуры с последующим вводом в эксплуатацию горного предприятия. Планируемый срок разработки (эксплуатации) месторождения – 25 лет.

### Цель исследования

В летне-осенний период 2017 г. было проведено радиозкологическое исследование Томторского месторождения после завершения разведочных работ. Целью работы была оценка текущего состояния радиационной и экологической обстановки в окрестностях площадок буровых разведочных скважин и производственных помещений на Томторском месторождении с установлением роли техногенного фактора в формировании радиационной обстановки.

Работы проведены в два этапа:

– полевые экспедиционные работы, включающие в себя полевое обследование площадок современных бу-

**Касаткин Владимир Викторович**

Госкорпорация Росатом, Акционерное Общество «ВНИПИпромтехнологии»

Адрес для переписки: 115409, Москва, Каширское шоссе, 33; E-mail: Kasatkin.V.V@vnipt.ru

ровых разведочных работ и территорий, прилегающих к производственным помещениям, на участках «Буранный», «Северный», «Южный» Томторского месторождения и фоновых участках;

– лабораторные исследования отобранных проб на содержание техногенных и природных радионуклидов, тяжелых и редких металлов, оценка текущего состояния радиационной и экологической обстановки на обследуемой территории.

### Задачи исследования

Анализ обобщенных сведений о радиационной обстановке на объекте по результатам обследований прошлых лет показал, что объем имеющейся информации недостаточен для содержательного анализа радиационной обстановки на месторождении. В связи с этим было принято решение о проведении углубленного радиационного обследования территории, необходимого как базис для последующего мониторинга по радиационному фактору, а также установлении роли техногенных процессов в формировании дополнительного облучения населения.

### Материалы и методы

Рабочая программа полевых работ включала в себя следующие виды работ: гамма-съемка территории, измерение плотности потока альфа- и бета-частиц, полевые гамма-спектрометрические измерения, отбор проб окружающей среды, остатков бурового шлама и керна.

Лабораторные радиометрические, спектрометрические и радиохимические исследования отобранных проб выполнены в лаборатории радиационной безопасности АО «ВНИПИпромтехнологии».

#### Определение мощности дозы гамма-излучения

Для измерения мощности дозы гамма-излучения с топографической привязкой использовался полевой прибор дозиметр-радиометр ДКГ-01 «Сталкер» (Россия). Измерения проводились на высоте 1 м от поверхности земли непрерывно по различным направлениям с автоматическим интервалом записи через каждые 15 с.

Для локальных измерений мощности дозы гамма-излучения на буровых скважинах и в производственных помещениях использовался полевой прибор дозиметр-радиометр МКС/СРП-08А (Россия). Измерения проводились на расстоянии 0,5–1 см от поверхности исследуемого объекта.

#### Измерение плотности потока альфа- и бета-частиц

В местах с повышенным уровнем мощности дозы гамма-излучения одновременно с измерением мощности дозы проводились измерения плотности потока альфа- и бета-частиц. Измерения проводились дозиметром – радиометром МКС/СРП-08А с  $\alpha$ - и  $\beta$ -датчиками вплотную к контролируемой поверхности, при необходимости очищенной от растительности.

#### Выполнение гамма-спектрометрических измерений

Определение спектрального состава поля гамма-излучения было осуществлено с помощью полевого гамма-спектрометра МКС-01А «Мультирад» (Россия). Детектор гамма-спектрометра располагался вплотную к земной поверхности.

#### Отбор проб

Отбор проб почвы был осуществлен в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01-83 «Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб». При отборе проб определялся тип почвы и видовой состав растительного покрова.

Отбор проб растительности проводился на тех же участках, где проводился отбор почвы. Масса пробы составляла не менее 0,5 кг из расчета на сырой вес.

Отбор проб дикорастущих пищевых продуктов (грибы, ягоды) был осуществлен в соответствии с МУК 2.6.1.1194-03 «Радиационный контроль. Стронций-90, цезий-137. Пищевые продукты. Отбор проб, анализ и гигиеническая оценка». Масса пробы составляла не менее 0,5 кг из расчета на сырой вес.

Отбор проб воды был осуществлен в соответствии с ГОСТ Р 51592-2000 «Вода. Общие требования к отбору проб». Для определения альфа- и бета-активности, содержания тяжелых металлов пробы помещались в пластиковые ёмкости. Пробы воды для определения содержания трития отбирались в стеклянные вакуумированные ёмкости объёмом около 50 мл. Для определения в пробах радона проводился барботаж с последующим измерением радона в полевых условиях в течение 24 ч после отбора пробы.

Для каждой пробы составлялся акт отбора, в котором указывалось название места отбора, географические координаты, ландшафтно-геохимические особенности, положение в микро- и мезорельефе, тип растительного сообщества и почв. Акты подписывались специалистами АО «ВНИПИпромтехнологии» и директором МУП «Жилиндинский».

#### Методики лабораторных анализов

Исследование содержания тяжелых металлов Pb, Zn и редких металлов Y, Nb, La, Ce, естественных радионуклидов Th, U в пробах почвы и грунта проводилось методом количественного химического анализа (КХА) – атомно-эмиссионной спектрометрией с индуктивно связанной плазмой (АЭС ИСП). Исследования проводились в соответствии с методикой «Определение элементного состава горных пород, почв, грунтов и донных отложений атомно-эмиссионным с индуктивно-связанной плазмой и масс-спектральным с индуктивно связанной плазмой методами».

Определение удельной активности радионуклидов в грунтах проводилось в соответствии с МВИ №40090.Н700 «Методика измерения активности радионуклидов с использованием сцинтилляционного гамма-спектрометра с программным обеспечением «Прогресс» и ГОСТ Р 54038-2010 «Почвы. Метод измерения  $^{137}\text{Cs}$ ».

Определение удельной суммарной альфа- и бета-активности в воде открытых водоемов проводилось в соответствии с ГОСТ 31864-2012 «Вода питьевая. Метод определения суммарной удельной альфа-активности радионуклидов» и МВИ 40090.5 «Методика измерения суммарной альфа-активности с использованием сцинтилляционного альфа-радиометра с программным обеспечением «Прогресс».

Определение удельной активности трития в воде определялось согласно методике определения ОА трития в воде на жидкостно-сцинтилляционных радиометрах серии Tri-Carb и Quantulus.

Определение содержания металлов Al, Ba, Hg и Pb проводилось методами КХА – АЭС ИСП и атомно-абсорбционной спектрофотометрии (ААС).

Определение удельной активности  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в пробах растительности и природных пищевых продуктов проводилось в соответствии с МУК 2.6.1.1194-03 «Радиационный контроль. Стронций-90 и цезий-137. Пищевые продукты. Отбор проб, анализ и гигиеническая оценка».

В таблице 1 приведен список полевых приборов и лабораторных установок, используемых в работе.

### Результаты и обсуждение

Результаты исследования гамма-поля на территории Томторского месторождения (участок «Буранный») представлены в виде карты-схемы на рисунке 1.

Значительные превышения естественного радиационного фона (ЕРФ) зафиксированы внутри и вблизи хранилища. На территории, прилегающей непосредственно к хранилищу на участке «Буранный», мощность дозы гамма-излучения находится в диапазоне 0,750,90 мкЗв/ч, в проходах самого хранилища

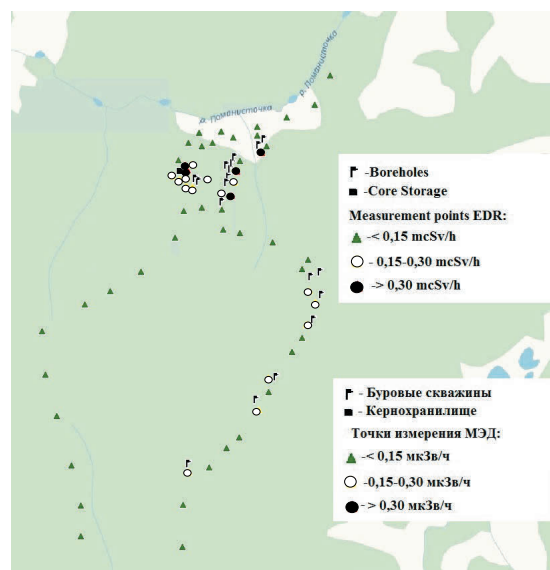


Рис. 1. Гамма-съемка территории участка «Буранный»  
[Fig. 1. Gamma-survey of the territory of the Buranny site]

Таблица 1

[Table 1]

| Средства измерений<br>Means of measurement] |                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                           |                                                                            |
|---------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| № п/п                                       | Средства измерения [Means of measurement]<br>Назначение [Appointment]                                                                                                                                                                              | Тип [Type]                                                                                                                                                | Примечание [Note]                                                          |
| Измерение МЭД                               |                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                           |                                                                            |
| 1                                           | γ-излучения с непрерывной регистрацией значений МЭД и координат каждой точки<br>[EDR measurement of γ-radiation with continuous registration values EDR and coordinates of every points]                                                           | ДКГ-01 «СТАЛКЕР»<br>[DKG-01 «STALKER»]                                                                                                                    | Полевой радиометр<br>[Field radiometer]                                    |
| 2                                           | Измерение γ-излучения вплотную к исследуемой поверхности, измерение плотности потока α- и β-частиц<br>[Measurement of γ-radiation close to the investigated surface, measurement of α- and β- particle flux density]                               | МКС/СРП-08А<br>[MKS/SRP -08A]                                                                                                                             | Полевой радиометр<br>[Field radiometer]                                    |
| 3                                           | Гамма-спектрометрические измерения, определение удельной активности радона в воде<br>[Gamma-spectrometric measurements, determination of radon specific activity in water]                                                                         | Установка спектрометрическая МКС-01А «Мультирад» (Навигатор)<br>[Spectrometric installation MKS-01A «Multirad»(Navigator)]                                | Полевая спектрометрическая установка<br>[Field spectrometric installation] |
| 4                                           | α-излучение, β-излучение, удельная активность трития<br>[α-radiation, β-radiation, specific activity of tritium]                                                                                                                                   | Жидкостной сцинтилляционный радиометр спектрометрический Tri-Carb 2910TR<br>[Liquid scintillation radiometer spectrometric Tri-Carb 2910TR]               | Лабораторная установка<br>[Laboratory unit]                                |
| 5                                           | Определение состава и активности отдельных бета- и гамма-излучающих радионуклидов, суммарной альфа- и бета-активности<br>[determination of the composition and activity of individual β- and γ- radiating radionuclides, total γ- and β- activity] | Установка спектрометрическая МКС-01А «Мультирад»<br>[Spectrometric installation MKS-01A «Multirad»]                                                       | Лабораторная установка<br>[Laboratory unit]                                |
| 6                                           | Определение содержания тяжелых и редких металлов, природных радионуклидов<br>[determination of the content of heavy and rare metals, natural radionuclides]                                                                                        | Спектрометр эмиссионный с индуктивно-связанной плазмой Agilent 725 ICP-OES<br>[Emission spectrometer with inductively coupled plasma Agilent 725 ICP-OES] | Лабораторная установка<br>[Laboratory unit]                                |
| 7                                           | Определение содержания тяжелых и редких металлов<br>[determination of the content of heavy and rare metals]                                                                                                                                        | Спектрофотометр атомно-абсорбционный SpectrAA<br>[Atomic absorption spectrophotometer]                                                                    | Лабораторная установка<br>[Laboratory unit]                                |

– 0,30–0,60 мкЗв/ч, вплотную к складированным ящикам с керном – максимально до 1,65 мкЗв/ч. На участке «Южный» находится заброшенное частично разрушенное кернохранилище, бывший лагерь геологоразведки «ЯкутскГеология» (рис. 2). Мощность дозы гамма-излучения в кернохранилище – 1,82–1,96 мкЗв/ч, на прилегающей к нему территории – до 0,90 мкЗв/ч.



**Рис. 2.** Вид на заброшенное кернохранилище  
[Fig. 2. View of the abandoned core storage]

Превышения наблюдались также вплотную к устьям некоторых скважин – максимальная МЭД зафиксирована на устье скважины Д-17 (участок «Буранный») и составляет 0,54 мкЗв/ч.

В остальном на участках «Буранный», «Южный» и «Северный» Томторского месторождения мощность дозы гамма-излучения находится в диапазоне 0,03–0,12 мкЗв/ч (среднее значение – 0,09 мкЗв/ч), что соответствует ЕРФ, характерному для данного региона.

В таблице 2 представлены выборочные результаты гамма-съемки территории Томторского месторождения.

Представляет интерес сравнительная оценка гипотетических доз облучения для различных сценариев пребывания людей на загрязненных участках Томторского месторождения или на прилегающих территориях.

Сценарий 1 (крайне маловероятный). Постоянное нахождение (проживание) на загрязненных участках территории месторождения с повышенным техногенным радиационным фоном. Принимаем 8800 ч/год по НРБ-99/2009.

Сценарий 2 (гипотетический). Производственная деятельность на месторождении работников различных служб. Принимаем 1700 ч/год по НРБ-99/2009.

Сценарий 3 (гипотетический). Эпизодическое случайное пребывание на месторождении отдельных групп населения (охотники, рыбаки, сборщики даров приро-

Таблица 2

**Гамма-съемка территории**

[Table 2]

**Gamma survey of the territory**

|    | Точки измерения<br>[measuring points]                  | Место расположения<br>[location]           | Координаты<br>[coordinates]<br>СШ/ВД [NL/EL] | МЭД<br>γ-излучения, мкЗв/ч<br>[EDR of γ-radiation, mcSv/h] |
|----|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| 1  | Берег р. Чымара<br>[riverside of Chimara]              | Рудная зона «Чымара»<br>[ore zone Chimara] | 70°59'07,7"<br>116°20'02,0"                  | 0,12                                                       |
| 2  | Скважина Д-13<br>[well D-13]                           | Участок «Буранный»<br>[Buranny site]       | 71°03'09,2"<br>116°33'19,6"                  | 0,16                                                       |
| 3  | Скважина Д-17<br>[well D-17]                           | Участок «Буранный»<br>[Buranny site]       | 71°03'10,9"<br>116°33'21,1"                  | 0,54                                                       |
| 4  | Скважина С-Д-16<br>[well S-D-16]                       | Участок «Буранный»<br>[Buranny site]       | 71°03'09,2"<br>116°33'19,6"                  | 0,34                                                       |
| 5  | Скважина С-Д-14<br>[well S-D-14]                       | Участок «Буранный»<br>[Buranny site]       | 71°03'11,8"<br>116°32'48,1"                  | 0,31                                                       |
| 6  | Скважина Д-19<br>[well D-19]                           | Участок «Буранный»<br>[Buranny site]       | 71°03'13,9"<br>116°33'08,4"                  | 0,25                                                       |
| 7  | Скважина С-Д-18<br>[well D-18]                         | Участок «Буранный»<br>[Buranny site]       | 71°03'18,2"<br>116°33'12,0"                  | 0,18                                                       |
| 8  | Скважина Д-19<br>[well D-19]                           | Участок «Буранный»<br>[Buranny site]       | 71°03'06,7"<br>116°32'55,1"                  | 0,25                                                       |
| 9  | Кернохранилище<br>[core storage]                       | Участок «Буранный»<br>[Buranny site]       | 71°03'08,1"<br>116°32'56,9"                  | 0,90                                                       |
| 10 | Прилегающая территория<br>[adjacent territory]         | Участок «Буранный»<br>[Buranny site]       | 71°03'08,1"<br>116°32'56,9"                  | 0,60                                                       |
| 11 | Заброшенное кернохранилище<br>[abandoned core storage] | Участок «Южный»<br>[South site]            | 71°00'30,1"<br>116°32'48,0"                  | 1,90                                                       |
| 12 | Прилегающая территория<br>[adjacent territory]         | Участок «Южный»<br>[South site]            | 71°00'30,1"<br>116°32'48,0"                  | 0,90                                                       |

|    | Точки измерения<br>[measuring points]                 | Место расположения<br>[location]   | Координаты<br>[coordinates]<br>СШ/ВД [NL/EL] | МЭД<br>γ-излучения, мкЗв/ч<br>[EDR of γ-radiation, mcSv/h] |
|----|-------------------------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| 13 | Скважина ПР-51<br>[well PR-51]                        | Участок «Южный»<br>[South site]    | 71°01'43,2»<br>116°33'07,6"                  | 0,17                                                       |
| 14 | Скважина ПР-59<br>[well PR-59]                        | Участок «Южный»<br>[South site]    | 71°01'53,1»<br>116°33'05,8"                  | 0,18                                                       |
| 15 | Скважина ПР-54<br>[well PR-54]                        | Участок «Южный»<br>[South site]    | 71°02'06,4»<br>116°33'12,5"                  | 0,16                                                       |
| 16 | Скважина ПР-47<br>[well PR-47]                        | Участок «Южный»<br>[South site]    | 71°02'15,4»<br>116°33'39,8"                  | 0,08                                                       |
| 17 | –                                                     | Участок «Северный»<br>[North site] | 71°03'34,1"»<br>116°28'19,4"                 | 0,06                                                       |
| 18 | Берег р. Поманисточка<br>[riverside of Pomanistochka] | Участок «Северный»<br>[North site] | 71°03'30,2"»<br>116°29'4,0"                  | 0,11                                                       |

ды, туристы и др.). Принимаем 2 раза в год по 2 дня, т.е. 96 ч/год.

Сценарий 4 (наиболее реальный). Проживание в населенных пунктах в районе месторождения или временное нахождение в прилегающих к месторождению районах.

В таблице 3 представлены результаты расчетов дополнительных доз облучения от техногенных источников

загрязнения. Для справки: предел дозы для населения составляет 1 мЗв.

В местах с повышенным значением мощности дозы гамма-излучения регистрируются также повышенные значения потока как альфа-, так и бета-частиц. В таблице 4 приведены типичные значения потока альфа- и бета-частиц.

Расчетные дозы облучения

Таблица 3

The estimated radiation dose]

[Table 3

| № п/п | Описание сценария<br>[scenario description]                                                                                                                          | Место нахождения<br>[location]                                             | Время<br>нахождения<br>[time spent] | МЭД<br>[EDR]            | Доза облучения<br>[radiation dose] |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|------------------------------------|
| 1     | Постоянное нахождение<br>(проживание) на загрязненных<br>участках территории<br>месторождения<br>[permanent presence in contaminated areas of the field]             | Кернохранилище участка<br>«Буранный»<br>[core storage of the buranny site] | 8800 ч/год<br>[hours/year]          | 0,90 мкЗв/ч<br>[mcSv/h] | 7,92 мЗв/год<br>[mcSv/year]        |
|       |                                                                                                                                                                      | Промплощадка скважины<br>[industrial site of the well]                     |                                     | 0,54 мкЗв/ч<br>[mcSv/h] | 4,75 мЗв/год<br>[mcSv/year]        |
| 2     | Производственная деятельность<br>на месторождении работников<br>различных служб<br>[production activity at the field of workers of various services]                 | Кернохранилище участка<br>«Буранный»<br>[core storage of the buranny site] | 1700 ч/год<br>[hours/year]          | 0,90 мкЗв/ч<br>[mcSv/h] | 1,53 мЗв/год<br>[mcSv/year]        |
|       |                                                                                                                                                                      | Промплощадка скважины<br>[industrial site of the well]                     |                                     | 0,54 мкЗв/ч<br>[mcSv/h] | 0,92 мЗв/год<br>[mcSv/year]        |
| 3     | Эпизодическое случайное<br>пребывание на месторождении<br>отдельных групп населения<br>[Occasional accidental stay at the field of certain groups of the population] | Кернохранилище участка<br>«Буранный»<br>[core storage of the buranny site] | 96 ч/год<br>[hours/year]            | 0,90 мкЗв/ч<br>[mcSv/h] | 86,4 мкЗв/год<br>[mcSv/year]       |
|       |                                                                                                                                                                      | Промплощадка скважины<br>[industrial site of the well]                     |                                     | 0,54 мкЗв/ч<br>[mcSv/h] | 51,8 мкЗв/год<br>[mcSv/year]       |
| 4     | Проживание в населенных<br>пунктах в районе месторождения<br>[accommodation in the settlements in the field area]                                                    | п. Саскылах<br>[v. Saskylakh]                                              | 8800 ч/год<br>[hours/year]          | 0,07 мкЗв/ч<br>[mcSv/h] | 616 мкЗв/год<br>[mcSv/year]        |
|       |                                                                                                                                                                      | п. Жилинда<br>[v. Gilinda]                                                 |                                     | 0,09 мкЗв/ч<br>[mcSv/h] | 792 мкЗв/год<br>[mcSv/year]        |

Таблица 4

Результаты измерения плотности потока  $\alpha$ - и  $\beta$ -частиц

[Table 4]

Results of measurement of flux density of  $\alpha$ - and  $\beta$ - particles]

| №<br>п/п | Наименование точки<br>[The name of the point]                          | Плотность потока<br>$\alpha$ - частиц,<br>част*см <sup>-2</sup> *мин <sup>-1</sup><br>[Flux density of<br>$\alpha$ - particles<br>part*cm <sup>-2</sup> *min <sup>-1</sup> ] | Плотность<br>потока $\beta$ -частиц,<br>част*см <sup>-2</sup> *мин <sup>-1</sup><br>[Flux density of<br>$\beta$ - particles<br>part*cm <sup>-2</sup> *min <sup>-1</sup> ] | Координаты<br>(Coordinate system)                                                 |                                                                                     |
|----------|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|          |                                                                        |                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                           | Широта (градусы,<br>минуты, секунды)<br>[Latitude (degrees,<br>minutes, seconds)] | Долгота (градусы,<br>минуты, секунды)<br>[Longitude (degrees,<br>minutes, seconds)] |
| 1        | Кернохранилище (мешки<br>с керном)<br>[core storage<br>Bags with kern] | 0,13                                                                                                                                                                         | 8                                                                                                                                                                         | 71°03'06,9"                                                                       | 116°32'00,0"                                                                        |
| 2        | Промплощадка скважины<br>Д-17<br>[The site of the well D-17]           | 0,04                                                                                                                                                                         | 15                                                                                                                                                                        | 71°03'10,9"                                                                       | 116°33'21,1"                                                                        |
| 3        | Заброшенное<br>кернохранилище<br>[abandoned core storage]              | 0,06                                                                                                                                                                         | 23                                                                                                                                                                        | 71°00'30,1"                                                                       | 116°32'48,0"                                                                        |

По результатам гамма-съемки определены участки для проведения полевой гамма-спектрометрии. Спектральный состав поля гамма-излучения был определен с помощью полевого гамма-спектрометра МКС-01А «Мультирад» (Россия) (рис. 3).

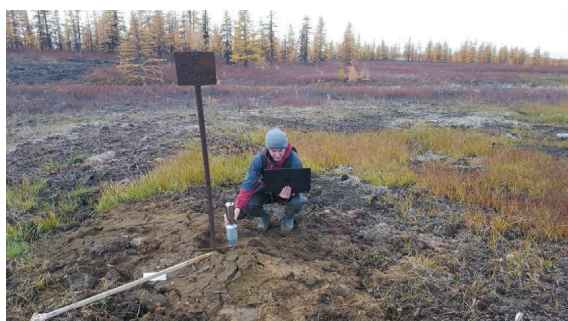


Рис. 3. Гамма-спектрометрические измерения  
[Fig. 3. Gamma-spectrometric measurements]

На гамма-спектре около кернохранилища на участке «Южный» в районе заброшенного лагеря «ЯкутскГеология» явно выражены и идентифицируются программой обработки пики радия-226 (кэВ 188), тория-232 (кэВ 240), калия-40 (кэВ 1460), что обусловлено влиянием размещенного (разбросанного) рядом керна (рис. 4). На остальных гамма-спектрах, определенных на участках Южный (скважина ПР-47) и Буранный (около кернохранилища, скважина Д-13, скважина Д-17), едва различимы и плохо идентифицируются пики спектров радионуклидов калий-40 и радий-226.

На территории участков «Буранный», «Северный» и «Южный», а также на прилегающей территории был проведен отбор проб почвы, керна, почвогрунтов, загрязненных остатками бурового шлама и керна, растительности (в том числе мха), дикорастущих пищевых продуктов (ягоды, грибы), воды поверхностных водоисточников.

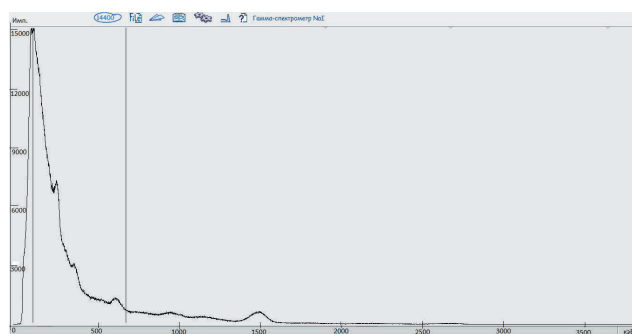


Рис. 4. Участок Южный, заброшенный лагерь «ЯкутскГеология»  
[Fig. 4. South section, abandoned camp «YakutskGeologia»]

Лабораторные исследования

В пробах воды определялась удельная суммарная альфа- и бета- активность, удельная активность (УА) радона и трития, концентрация металлов Al, Ba, Hg, Pb. По результатам проведенных анализов УА радона и трития не превышают уровни вмешательства, установленные Нормами радиационной безопасности (НРБ 99/2009), измеренные значения суммарной альфа- и бета-активности не превышают критерий предварительной оценки допустимости использования воды для питьевых целей (по показателю радиационной безопасности), установленный НРБ-99/2009. Результаты лабораторных исследований удельной суммарной альфа- и бета-активности, удельной активности радона и трития в пробах воды представлены в таблице 5.

Измеренная концентрация алюминия находится в диапазоне (0,051–0,065) мг/дм<sup>3</sup> и превышает предельно допустимую концентрацию (ПДК) в водах водных объектов рыбохозяйственного назначения, установленные Приказом № 552 от 13 декабря 2016 г. Министерства сельского хозяйства Российской Федерации.

Таблица 5

## Результаты анализа проб воды

[Table 5]

## The results of water samples analysis]

| Место отбора<br>[location]                                           | Удельная активность, Бк/л [Specific activity, Bq/l] |         |                   |         |             |         |             |         |
|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------|-------------------|---------|-------------|---------|-------------|---------|
|                                                                      | <sup>3</sup> H                                      | УВ [LI] | <sup>222</sup> Rn | УВ [LI] | УСБА [STAA] | КУ [CL] | УСБА [STBA] | КУ [CL] |
| р. Чымара<br>[r. Chymara],<br>70°59'07,7"<br>116°20'02,0"            | <5*                                                 | 7600    | 0,35±0,04         | 60      | 0,07        | 0,2     | 0,26        | 1,0     |
| р. Поманисточка,<br>[r.Pomanistochka]<br>71°03'11,8"<br>116°32'48,1" | <5                                                  | 7600    | 0,31±0,03         | 60      | 0,09        | 0,2     | 0,21        | 1,0     |
| р. Онгучах<br>[r. Onguchakh]<br>71°00'27,6"<br>116°32'59,6"          | <5                                                  | 7600    | 0,42±0,04         | 60      | 0,05        | 0,2     | 0,24        | 1,0     |

В отобранных пробах почвы и грунтов определялось содержание тяжелых металлов Pb, Zn и редких металлов Y, Nb, La, Ce, радионуклидов <sup>137</sup>Cs, <sup>40</sup>K, <sup>232</sup>Th, <sup>226</sup>Ra. Результаты анализов показали, что удельная активность <sup>137</sup>Cs незначительно превышает фоновые значения, определенные в ходе радиоэкологического обследования в 2016 г. на территории населегов Жилинда и Саскылах. Удельная ак-

тивность радионуклидов <sup>40</sup>K, <sup>232</sup>Th, <sup>226</sup>Ra также незначительно превышает фоновые значения, что было предположено при проведении полевой гамма-спектрометрии. Результаты исследований представлены в таблице 6.

В отобранных пробах лесных грибов и ягод определялась удельная активность <sup>137</sup>Cs, <sup>90</sup>Sr. Результаты приведены в таблице 7.

Таблица 6

## Результаты анализа проб грунта

[Table 6]

## Results of soil samples analysis]

| №<br>п/п | Описание<br>[description]                                                                                                                                 | Вид пробы<br>[type of sample]                                                                                 | Удельная активность сухой пробы, Бк/кг<br>[Specific activity, Bq/kg] |                                 |                                 |                                 |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
|          |                                                                                                                                                           |                                                                                                               | <sup>137</sup> Cs                                                    | <sup>40</sup> K                 | <sup>232</sup> Th               | <sup>226</sup> Ra               |
| 1        | Участок «Буранный», промплощадка скв.С-Д-16<br>[Buranny site, The site of the well S-D-16]                                                                | Почвогрунт<br>[soil]                                                                                          | 6,9±2,1                                                              | (3,18±1,30)<br>*10 <sup>2</sup> | (1,34±0,21)<br>*10 <sup>2</sup> | (2,52±0,51)<br>*10 <sup>2</sup> |
| 2        | Участок «Буранный», промплощадка скв.Д-13<br>[Buranny site, The site of the well D-13]                                                                    | Грунт, загрязненный остатками бурового шлама и керна<br>[soil, contaminated with residues of sludge and core] | 8,4±2,7                                                              | (7,41±0,92)<br>*10 <sup>2</sup> | (1,41±0,35)<br>*10 <sup>2</sup> | (0,32±0,08)<br>*10 <sup>2</sup> |
| 3        | Участок «Буранный», промплощадка скв.Д-17<br>[Buranny site, The site of the well D-17]                                                                    | Грунт, загрязненный остатками бурового шлама и керна<br>[soil, contaminated with residues of sludge and core] | 11,1±3,4                                                             | (5,14±0,94)<br>*10 <sup>2</sup> | (1,00±0,12)<br>*10 <sup>2</sup> | (0,53±0,09)<br>*10 <sup>2</sup> |
| 4        | Участок «Буранный», территория, прилегающая к кернохранилищу<br>[Buranny site, adjacent territory to core storage]                                        | Почвогрунт<br>[soil]                                                                                          | 7,5±2,3                                                              | (4,94±1,00)<br>*10 <sup>2</sup> | (1,01±0,12)<br>*10 <sup>2</sup> | (0,90±0,15)<br>*10 <sup>2</sup> |
| 5        | Участок «Южный», скв.ПР-47<br>[South site, well PR-47]                                                                                                    | Грунт, загрязненный остатками бурового шлама и керна<br>[soil, contaminated with residues of sludge and core] | 6,0±1,8                                                              | (8,41±1,01)<br>*10 <sup>2</sup> | (4,43±0,91)<br>*10 <sup>2</sup> | (3,44±0,90)<br>*10 <sup>2</sup> |
| 6        | Территория, прилегающая к заброшенному кернохранилищу (лагерь «ЯкутскГеология»)<br>[adjacent territory to abandoned core storage (camp Yakutsk Geologia)] | Почвогрунт<br>[soil]                                                                                          | 10,2±3,1                                                             | (9,43±0,93)<br>*10 <sup>2</sup> | (5,31±1,02)<br>*10 <sup>2</sup> | (8,54±1,24)<br>*10 <sup>2</sup> |

Таблица 7

Результаты анализа проб грибов и ягод

[Table 7]

Results of mushrooms and berries samples analysis]

| Тип пробы<br>[type of sample]                   | Лаб. №<br>[lab №] | Удельная активность, Бк/кг [specific activity, Bq/kg] |                  |
|-------------------------------------------------|-------------------|-------------------------------------------------------|------------------|
|                                                 |                   | <sup>137</sup> Cs                                     | <sup>90</sup> Sr |
| Ягоды (голубика)<br>[blueberry]                 | 299-17            | 0,54±0,05                                             | 0,26±0,03        |
| Грибы (сев. маслята)<br>[mushrooms Suillus sp.] | 300-17            | 0,49±0,05                                             | 0,11±0,01        |
| Ягоды (голубика)<br>[blueberry]                 | 318-17            | 0,61±0,06                                             | 0,36±0,04        |
| Грибы (сев. маслята)<br>[mushrooms Suillus sp.] | 319-17            | 0,75±0,08                                             | 0,20±0,02        |

Измеренные значения удельной активности <sup>137</sup>Cs не превышают допустимого уровня, установленного СанПиН 2.3.2.1078-01. Удельная активность <sup>90</sup>Sr не нормируется.

### Заключение

Обследованные участки территории Томторского редкометалльного месторождения и объекты окружающей среды в целом характеризуются естественным радиационным фоном, присущим данному региону, определяемым по результатам ежегодных наблюдений. Дополнительного радиационного воздействия на население поселков и на окружающую природную среду прилегающих территорий в настоящее время не отмечено.

В то же время имеются отдельные локальные производственные участки, где наблюдается повышенный радиационный фон. Это относится к кернохранилищам, содержащим радиоактивный керн из разведочных буровых скважин, к прилегающим к ним территориям и к промплощадкам самих разведочных скважин. Поэтому отдельные категории населения (охотники, туристы, работники промысла) могут подвергнуться дополнительному облучению в дозах, зависящих от времени и места нахождения людей на аномальных участках. Отклонения от значений естественного радиационного фона определяются исключительно деятельностью по разведке месторождения, то есть являются техногенным воздействием, несмотря на природный характер самих радионуклидов.

Оценка дополнительных потенциально возможных доз облучения на отдельных загрязненных участках Томторского месторождения показывает, что доза дополнительного облучения при случайном пребывании людей на месторождении не превысит допустимых пределов, установленных Нормами радиационной безопасности НРБ-99/2009, – 1мЗв/год.

Полученные в ходе исследований радиоэкологические характеристики представляют собой начальный этап обязательного радиационного мониторинга при разработке Томторского редкометалльного месторождения. При этом состав и объем мониторинга должны определяться программой в общем контексте проекта обеспе-

чения радиационной безопасности населения и охраны окружающей среды.

### Литература

1. Каткова, М.Н. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2016 году. Ежегодник / М.Н. Каткова [и др.]. – Обнинск: ФГБУ НПО «Тайфун», 2017. – гл. 2.8. – С. 145–151.
2. Интернет-портал «Якутия. Образ будущего»: <http://yakutiafuture.ru/2015/11/22/tomtorskoe-mestorozhdenie-rzm-2-chast-obshhaya-informaciya/> (дата обращения: 12.06.2017 г.).
3. Шишов, Л.Л. Классификация и диагностика почв России / Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. – Смоленск, 2004. – 342 с.
4. Саввинов, Д.Д. Почвы Якутии / Д.Д. Саввинов // Якутское книжное издательство, 1989. – 149 с.
5. Десяткин, Р.В. Почвы Якутии / Р.В. Десяткин, М.В. Оконешников, А.Р. Десяткин. – Якутск: Бичик, 2009. – 61 с.
6. Кравченко, СМ. Скандиево-редкоземельно-иттриево-ниобиевые руды – новый тип редкометалльного сырья / СМ. Кравченко, А.Ю. Беляков, А.И. Кубышев, А.В. Толстов // Геология рудных месторождений. – 1990. – Т. 32, № 11. – С. 105–109.
7. Лапин, А.В. Новые уникальные месторождения редких металлов в корях выветривания карбонатитов / А.В. Лапин, А.В. Лапин // Разведка и охрана недр. – 1993. – № 3 – С. 7–11.
8. Собакин, П.И. Глобальное загрязнение <sup>137</sup>Cs на территории Якутии / П.И. Собакин, В.Е. Ушницкий, Е.С. Захаров // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: материалы Междунар. конф. – Томск, 4–8 июня 2013 г. – Томск, 2013.
9. Собакин, П.И. Радиоэкологическая обстановка на территории Республики Саха (Якутия) / П.И. Собакин, А.П. Чевычелов, Я.Р. Герасимов, А.А. Перк // Материалы VI Междунар. конф. – Томск, 13–16 сентября 2016 г. – Томск: БТТ, 2016. – С. 591–592.
10. Толстов, А.В. Комплексная оценка Томторского месторождения / А.В. Толстов, А.П. Гунин // Вестник Воронежского университета. Геология. – 2001. – Вып. 11. – С. 144–166.

Поступила: 15.10.2018 г.

**Касаткин Владимир Викторович** – кандидат технических наук, начальник лаборатории радиационной безопасности Акционерного Общества «ВНИПИпромтехнологии». **Адрес для переписки:** 115409, Москва, Каширское шоссе, 33; E-mail: Kasatkin.V.V@vnipt.ru

**Касаткин Андрей Владимирович** – заместитель начальника лаборатории радиационной безопасности Акционерного Общества «ВНИПИпромтехнологии», Москва, Россия

**Ильичев Вячеслав Алексеевич** – кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник Акционерного Общества «ВНИПИпромтехнологии», Москва, Россия

**Седов Николай Сергеевич** – ведущий инженер Акционерного Общества «ВНИПИпромтехнологии», Москва, Россия

**Василенко Евгений Михайлович** – ведущий инженер Акционерного Общества «ВНИПИпромтехнологии», Москва, Россия

**Евдокимов Сергей Виталиевич** – старший специалист Акционерного Общества «ВНИПИпромтехнологии», Москва, Россия

**Для цитирования:** Касаткин В.В., Касаткин А.В., Ильичев В.А., Седов Н.С., Василенко Е.М., Евдокимов С.В. Радиэкологические исследования после завершения разведочных работ на Томторском редкометальном месторождении (Республика Саха (Якутия)) // Радиационная гигиена. – 2018. – Т. 11, № 4. – С. 18-27. DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-4-18-27

## Post-prospecting radioecological surveys on the Tomtorskoye rare metal deposit (Sakha Republic (Yakutia))

Vladimir V. Kasatkin, Andrey V. Kasatkin, Vyacheslav A. Ilyichev, Nikolay S. Sedov, Evgeniy M. Vasilenko, Sergey V. Evdokimov

ROSATOM State Atomic Energy Corporation, Joint-stock company VNIPIpromtekhnologii, Moscow, Russia

*In 2017, the specialists of the radiation safety laboratory of JSC «VNIPIpromtekhnologii» conducted a radioecological examination of the «Buranny», «Severny» and «Yuzhny» sites in the Tomtorskoye rare metal deposit (the northern part of the Olenek ulus of the Sakha Republic (Yakutia)). By this time, exploration work was completed at the field with an assessment of the radiation situation. Due to the fact that the amount of information received was not sufficient for a comprehensive analysis and prediction of the radiation situation, it was decided to conduct an additional radioecological survey at the field and in the adjacent area. The research program included field and laboratory work: gamma surveying of the territory, measuring the flux density of alpha and beta particles, gamma spectrometric measurements, environmental sampling, residues of drill cuttings and core, conducting research on the content of natural and man-made radionuclides, as well as individual chemical elements in the selected samples. According to the results of the research, a conclusion was drawn about the normal radiation situation in general in the field. Certain sites of the radioactive contamination was associated with an anthropogenic impact on the ecology of the field during exploratory drilling with the extraction of core from the ore body to the surface of the sites.*

**Key words:** radioecological research, technogenic impact, natural radionuclides, dose rate, heavy metals, Tomtorskoye rare metal deposit.

## References

1. Katkova M.N. [et al.] Radiation situation on the territory of Russia and neighboring countries in 2016. Annual report. Obninsk, FGBU NPO "Taifun", 2017, chapter 2.8, pp. 145-151. (In Russian)
2. Internet-portal "Yakutia. The image of the future". – Available on: <http://yakutiafuture.ru/2015/11/22/tomtorskoe-mesto-rozhdenie-rzm-2-chast-obshhaya-informaciya/> (Accessed: 12.06.2017). (In Russian)
3. Shishov L.L., Tonkonogov V.D., Lebedeva I.I., Gerasimova M.I. Classification and diagnostics of Russian soils. Smolensk, 2004, 342 p. (In Russian)
4. Savvinov, D.D. Soils of Yakutia. Yakutia book publishing, 1989, 149 p. (In Russian)

**Vladimir V. Kasatkin**

Joint-stock company VNIPIpromtekhnologii

**Address for correspondence:** Kashirskoye highway, 33, Moscow, 115409; E-mail: Kasatkin.V.V@vnipt.ru

5. Desyatkin R.V., Okoneshnikov M.V., Desyatkin A.R. Soils of Yakutia. – Yakutsk, 2009, 61 p. (In Russian)
6. Kravchenko S.M., Belyakov A.Yu., Kubyshev A.I., Tolstov A.V. Scandium-rare-earth-iridium-niobium ores – new type of rare metal raw materials. *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy* = *Geology of raw deposits*, 1990, Vol. 32, № 11, pp. 105-109. (In Russian)
7. Lapin A.V., Lapin A.V. New unique deposits of rare metals in the weathering cores of carbonatites. Survey and protection of mineral resources. 1993, №3, pp. 7-11. (In Russian)
8. Sobakin P.I., Ushnitskiy V.E., Zakharov E.S. Global contamination by <sup>137</sup>Cs on the territory of Yakutia. Radioactivity and radioactive elements in the environment: materials of the international conference. Tomsk, June 4-8, 2013, Tomsk, 2013. (In Russian)
9. Sobakin P.I., Chevychelov Ya.R., Gerasimov A.P., Perk A.A. Radioecological situation on the territory of the Republic of Saha (Yakutia). Materials of the VI international conference Tomsk, September 13-16, 2016, Tomsk BTT, pp. 591-592. (In Russian)
10. Tolstov A.V., Gunin A.P. Complex evaluation of the Tomtor deposit. *Vestnik Voronezhskogo universiteta. Geologiya* = *Bulletin of the Voronezh university. Geology*, 2001, issue 11, pp. 144-166. (In Russian)

Received: October 15, 2018

**For correspondence: Vladimir V. Kasatkin** – PhD, head of the radiation safety laboratory, Joint-stock company «VNIPromtekhnologii» (Kashirskoye highway, 33, Moscow, 115409; E-mail: Kasatkin.V.V@vnipipt.ru)

**Andrey V. Kasatkin** – Deputy head of the radiation safety laboratory, Joint-stock company «VNIPromtekhnologii», Moscow, Russia

**Vyacheslav A. Ilyichev** – PhD, lead scientist, Joint-stock company «VNIPromtekhnologii», Moscow, Russia

**Nikolay S. Sedov** – Lead engineer, Joint-stock company «VNIPromtekhnologii», Moscow, Russia

**Evgeniy M. Vasilenko** – Lead engineer, Joint-stock company «VNIPromtekhnologii», Moscow, Russia

**Sergey V. Evdokimov** – Chief specialist, Joint-stock company «VNIPromtekhnologii», Moscow, Russia

**For citation: Kasatkin V.V., Kasatkin A.V., Ilyichev V.A., Sedov N.S., Vasilenko E.M., Evdokimov S.V. Post-prospecting radioecological surveys on the Tomtorskoyskoye rare metal deposit (Saha Republic (Yakutia)). *Radiatsionnaya Gygiena* = *Radiation Hygiene*, 2018, Vol. 11, No. 4, pp. 18–27. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-4-18-27**

## Критерии защиты населения после радиационной аварии: использование радиационного риска для анализа и принятия оптимальных решений по ограничению потребления пищевых продуктов, загрязненных техногенными радионуклидами

В.С. Репин, Л.В. Репин

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

*Целью данной работы является оценка соответствия критерия А, принятого в НРБ-99/2009 в качестве аварийного уровня вмешательства по дозе, допустимым значениям удельной активности  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{131}\text{I}$  в пищевых продуктах в первый год после аварии. Оценки выполнены на основе сопоставления коэффициентов консервативности по дозе и величине риска. Результаты оценки показали, что в равной мере консервативными являются оценки доз и рисков для  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ , рассчитанных на основе взвешивания по численности возрастных групп. Для  $^{131}\text{I}$  коэффициенты консервативности по дозе и риску существенно отличаются, что свидетельствует о нецелесообразности использования эффективной дозы для оптимизации радиационной защиты в отношении данного радионуклида. Коэффициенты отношения средневзвешенных по численности отдельных возрастных групп значений риска к средневзвешенным значениям эффективных доз для  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  близки к номинальному коэффициенту риска смерти от злокачественных новообразований для населения  $5 \cdot 10^{-5}$ , что подтверждает то, что номинальные коэффициенты риска могут использоваться только для населения в целом. Предложены два варианта критериев оптимизации радиационной защиты населения: 1) по величине средневзвешенного по численности отдельных возрастных групп значению эффективной дозы или 2) по величине средневзвешенного по численности отдельных возрастных групп риска. Показано, что для оптимизации защиты отдельных возрастных групп более предпочтительным критерием является величина риска, рассчитанная для данной возрастной группы, поскольку максимальная эффективная доза некоторой возрастной группы не всегда соответствует максимальному риску.*

**Ключевые слова:** пищевые продукты,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{131}\text{I}$ , удельная активность, доза, риск, критерии вмешательства.

### Введение

Основой принятия решений по защите населения при загрязнении пищевых продуктов техногенными радионуклидами являются уровни вмешательства, регламентированные в НРБ-99/2009<sup>1</sup> (таблицы 6.4, 6.5). Критерии для первого года после аварии, согласно НРБ-99/2009, включают как прогнозируемые дозы облучения, предотвращаемые защитным мероприятием, так и уровни загрязнения пищевых продуктов. В работе [1] было показано, что дозы облучения в различных возрастных группах зависят не

только от соответствующих дозовых коэффициентов, но и от массы продуктов, потребляемых в течение года. При этом, как показали расчеты, удельные активности  $^{137}\text{Cs}$  – 1000 Бк/кг и  $^{90}\text{Sr}$  – 100 Бк/кг в молоке, как правило, одного из наиболее употребляемых населением продуктов, не приводят ни в одной возрастной группе к превышению дозы 5 мЗв/год (уровень вмешательства А) при круглогодичном его потреблении.

Наряду с оценкой прогнозируемых доз облучения населения, принятие временных допустимых уровней загрязнения пищевых продуктов сопровождается оценкой

<sup>1</sup> Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарные правила и нормативы. СанПиН 2.6.1.2523-09. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 100 с.

[Norms of the radiation safety (NRB 99/2009): Sanitary rules and norms. SanPiN 2.6.1.2523-09. Moscow, Federal center of hygiene and epidemiology of Rospotrebnadzor, 2009, 100 p.]

**Репин Виктор Степанович**

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

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

отдаленных последствий потребления таких продуктов для здоровья. В настоящее время для прогноза отдаленных последствий все чаще используют специальные модели риска [2–4].

Осторожность, которую следует проявлять при использовании номинального коэффициента риска для оценки отдаленных последствий, многократно подчеркивается в 103 публикации МКРЗ [5]. Основная причина такого настороженного отношения кроется в понятии номинального коэффициента, который создан и рассчитан для композитной (смешанной) популяции с целью обоснования единых общемировых пределов доз для персонала и населения, и использование его для конкретной популяции или отдельной возрастной группы является некорректным. Аналогичное предостережение высказано в [6] в отношении применения коэффициента ущерба в области малых доз применительно к российской популяции.

Ряд исследователей в последнее время задаются вопросом, является ли эффективная доза в системе радиационной защиты величиной, гарантирующей защиту на уровне приемлемого риска в различных ситуациях облучения и особенно при внутреннем облучении [7].

Риск-анализ в системе радиационной защиты в последние годы находит все большее распространение, как в научных публикациях [8–13], так и в методических документах<sup>2</sup>. Современные модели риска [2–4] позволяют оценивать показатели риска отдаленных последствий при облучении в любом возрасте для популяций с конкретными демографическими показателями и показателями заболеваемости и смертности.

**Цель исследования** – оценить соответствие аварийных уровней вмешательства по дозе внутреннего облучения, принятой в НРБ-99/2009 для критерия А (5 мЗв), и допустимых уровней удельной активности  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{131}\text{I}$  в пищевых продуктах в первый год после аварии путем сопоставления подходов, основанных на величине дозы и величине риска.

## Материалы и методы

В соответствии с целью сравнение двух подходов по оценке степени консервативности радиационной защиты выполнено для трех радиологически значимых радионуклидов:  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{131}\text{I}$ . Данные радионуклиды различаются по метаболическим свойствам и периодам полураспада.

## Подход, основанный на величине эффективной дозы

В таблице 1 приведены дозовые коэффициенты  $k_d$  на 1 Бк поступления радионуклида в организм, приведен-

ные в публикациях МКРЗ [14–16] и в основных стандартах безопасности МАГАТЭ [17].

Таблица 1  
Дозовые коэффициенты  $k_d$  для  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{131}\text{I}$  (Зв/Бк)  
[Table 1  
Dose coefficients,  $k_d$ , for  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{131}\text{I}$  (Sv/Bq)]

| Возраст, лет<br>[Age, year]     | $^{137}\text{Cs}$    | $^{90}\text{Sr}$     | $^{131}\text{I}$     |
|---------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 1                               | $1,2 \times 10^{-8}$ | $7,3 \times 10^{-8}$ | $1,8 \times 10^{-7}$ |
| 5                               | $9,6 \times 10^{-9}$ | $4,7 \times 10^{-8}$ | $1,0 \times 10^{-7}$ |
| 10                              | $1,0 \times 10^{-8}$ | $6,0 \times 10^{-8}$ | $5,2 \times 10^{-8}$ |
| 15                              | $1,3 \times 10^{-8}$ | $8,0 \times 10^{-8}$ | $3,4 \times 10^{-8}$ |
| Взрослые (>19)<br>[Adult (>19)] | $1,3 \times 10^{-8}$ | $2,8 \times 10^{-8}$ | $2,2 \times 10^{-8}$ |

Из таблицы 1 видно, что наибольшие значения дозовых коэффициентов выбранных радионуклидов относятся к лицам разного возраста: 20 лет и старше для  $^{137}\text{Cs}$ , 15 лет для  $^{90}\text{Sr}$  и 1 год для  $^{131}\text{I}$ .

Доза облучения за счет потребления лицами  $k$ -го возраста  $j$ -го пищевого продукта, загрязненного  $i$ -м радионуклидом, рассчитывалась по формуле:

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

где  $C_{ij}$  – удельная активность  $i$ -го радионуклида в  $j$ -ом пищевом продукте, принятые равными 1000 Бк/кг для всех трех радионуклидов в соответствии с таблицей 6.5 НРБ-99/2009 для уровня А;

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

$m_{jk}$  – средняя масса потребления лицами  $k$ -го возраста  $j$ -го пищевого продукта, кг/сут (числовые значения представлены в работе [1]);

$t$  – длительность потребления загрязненного пищевого продукта, сут (для  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  принята равной 365 сут, для  $^{131}\text{I}$  – 30 сут);

Коэффициент консервативности дозового подхода для  $k$ -й возрастной группы оценивался следующим образом:

$$K_k^D = \frac{D_A}{D_{ijk}}, (2)$$

где  $D_A$  принята равной 5 мЗв/год в соответствии с критерием А принятия решений об ограничении потребления пищевых продуктов (таблица 6.4 НРБ-99/2009).

Кроме доз, в отдельных возрастных группах нередко используется средневзвешенная по численности отдельных возрастных групп величина эффективной дозы:

<sup>2</sup> Классификация пищевой продукции, обращаемой на рынке, по риску причинения вреда здоровью и имущественных потерь потребителей для организации плановых контрольно-надзорных мероприятий: Методические рекомендации. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2016. 38 с.

[Classification of the market available food products by the risk of the harm to the health and property losses of the consumers for the development of the planed control and surveillance actions. Methodical guidelines. Moscow. Federal center of hygiene and epidemiology of Rosпотребнадзор, 2016, 38 p.]

МУ 2.1.10.3014-12. Оценка радиационного риска у населения за счёт длительного равномерного техногенного облучения в малых дозах. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2012

[МУ 2.1.10.3014-12. Assessment of radiation risks of the public due to the long-term uniform man-made exposure in low doses. Moscow, Federal service on consumer rights protection and human well-being, 2012]

$$D_{ij|нас} = \sum_k D_{ijk} \times P_k, \quad (3)$$

где  $P_k$  – доля населения  $k$ -й возрастной группы в общей численности населения, а

$$\sum_k P_k = 1.$$

В этом случае степень консервативности оценивается путем подстановки величины  $D_{нас}$  в знаменатель формулы 2.

### Подход, основанный на величине риска

Риск злокачественных новообразований от потребления пищевых продуктов с повышенным содержанием техногенных радионуклидов связан с облучением желудочно-кишечного тракта, а также других органов и тканей после всасывания радионуклида в кровь. Распределение радионуклида по органам и тканям, уровни накопления и дозы облучения отдельных органов определяются его метаболическими свойствами. При неравномерном распределении радионуклида поглощенные дозы в отдельных органах могут отличаться в десятки и сотни раз.

Период, в течение которого происходит формирование дозы внутреннего облучения от поступившего радионуклида, может завершиться в течение короткого промежутка времени (недели, месяцы) или продолжаться в течение всей предстоящей жизни с момента поступления. Вероятность негативных последствий для здоровья при равной дозе, как правило, тем выше, чем в более раннем возрасте завершилось формирование полной дозы.

Приемлемые значения пожизненного риска, установленные в НРБ-99/2009 для условий нормальной эксплуатации источников ионизирующих излучений, приняты равными  $1,0 \times 10^{-3}$  для персонала и  $5,0 \times 10^{-5}$  для населения, а уровень пренебрежимо малого риска принят равным  $1,0 \times 10^{-6}$ .

Конкретное значение приемлемого риска после аварии может быть принято в процессе оптимизации радиа-

ционной защиты на основе анализа текущей и прогнозируемой радиационной обстановки, оценки вариантов возможных последствий облучения и возможности осуществить те или иные меры защиты, позволяющие снизить риск до уровня, который на некотором временном интервале может считаться приемлемым.

Количественная оценка риска злокачественных новообразований за счет потребления пищевых продуктов, подвергшихся загрязнению техногенными радионуклидами вследствие радиационной аварии, включает:

- оценку коэффициентов риска на 1 Бк активности, поступившей с пищевым продуктом;
- расчет табулированных значений показателей риска на 1 Бк/кг удельной активности пищевого продукта с учетом среднесуточной массы потребления в соответствующих возрастных группах;
- вычисление показателей риска злокачественных новообразований для принятых значений удельной активности радионуклидов в пищевых продуктах с учетом массы потребления продуктов различными возрастными группами;
- определение групп максимального риска.

Наряду с количественной, может быть дана также качественная характеристика риска (например, низкий, умеренный, высокий).

В данной работе для оценки консервативности рискованного подхода использованы методические подходы к расчету пожизненных атрибутивных (приписанных) рисков онкологической заболеваемости и смертности, опубликованные Агентством по защите окружающей среды США в работе [4], и результаты расчета рисков, полученные с помощью доступного для использования программного обеспечения «Risk\_tab». Коэффициенты приписываемых вероятностей смертности и заболеваемости на 1 Бк поступления различных радионуклидов, рассчитанные с помощью «Risk\_tab», даны в таблице 2.

Таблица 2

**Коэффициенты риска смертности и заболеваемости в различных половозрастных группах на 1 Бк поступления радионуклида в организм с пищевыми продуктами, Бк<sup>-1</sup>**

[Table 2]

**Risk coefficients for mortality and morbidity in different age and sex groups per 1 Bq of radionuclide intake into the body with food, Bq<sup>-1</sup>**

| Радионуклид<br>[Radionuclide] | Возраст, лет<br>[Age, year] | Мужчины [Male]            |                               | Женщины [Female]          |                               |
|-------------------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------------------|---------------------------|-------------------------------|
|                               |                             | Смертность<br>[Mortality] | Заболеваемость<br>[Incidence] | Смертность<br>[Mortality] | Заболеваемость<br>[Incidence] |
| Sr-90                         | 0–4                         | 5,53E-09                  | 7,22E-09                      | 5,70E-09                  | 7,46E-09                      |
|                               | 5–9                         | 3,60E-09                  | 4,46E-09                      | 3,69E-09                  | 4,58E-09                      |
|                               | 10–14                       | 2,63E-09                  | 3,16E-09                      | 2,68E-09                  | 3,24E-09                      |
|                               | 15–19                       | 3,21E-09                  | 3,63E-09                      | 3,25E-09                  | 3,68E-09                      |
|                               | 20–29                       | 2,06E-09                  | 2,17E-09                      | 2,08E-09                  | 2,20E-09                      |
|                               | 30–39                       | 1,62E-09                  | 1,71E-09                      | 1,63E-09                  | 1,72E-09                      |
|                               | 40–49                       | 1,23E-09                  | 1,28E-09                      | 1,23E-09                  | 1,28E-09                      |
|                               | 50–59                       | 8,98E-10                  | 9,32E-10                      | 9,00E-10                  | 9,34E-10                      |
|                               | 60–69                       | 6,39E-10                  | 6,63E-10                      | 6,41E-10                  | 6,65E-10                      |
|                               | >70                         | 3,63E-10                  | 3,73E-10                      | 3,64E-10                  | 3,74E-10                      |

| Радионуклид<br>[Radio-nuclide] | Возраст, лет<br>[Age, year] | Мужчины [Male]            |                               | Женщины [Female]          |                               |
|--------------------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------------------|---------------------------|-------------------------------|
|                                |                             | Смертность<br>[Mortality] | Заболеваемость<br>[Incidence] | Смертность<br>[Mortality] | Заболеваемость<br>[Incidence] |
| I-131                          | 0–4                         | 1,16E-09                  | 1,10E-08                      | 1,17E-09                  | 1,10E-08                      |
|                                | 5–9                         | 5,58E-10                  | 5,30E-09                      | 5,66E-10                  | 5,31E-09                      |
|                                | 10–14                       | 2,89E-10                  | 2,71E-09                      | 2,94E-10                  | 2,72E-09                      |
|                                | 15–19                       | 1,74E-10                  | 1,62E-09                      | 1,78E-10                  | 1,63E-09                      |
|                                | 20–29                       | 6,35E-11                  | 5,56E-10                      | 6,59E-11                  | 5,59E-10                      |
|                                | 30–39                       | 4,85E-11                  | 4,31E-10                      | 4,95E-11                  | 4,33E-10                      |
|                                | 40–49                       | 3,66E-11                  | 3,23E-10                      | 3,69E-11                  | 3,23E-10                      |
|                                | 50–59                       | 2,61E-11                  | 2,23E-10                      | 2,64E-11                  | 2,23E-10                      |
|                                | 60–69                       | 1,66E-11                  | 1,37E-10                      | 1,68E-11                  | 1,37E-10                      |
|                                | >70                         | 6,67E-12                  | 5,35E-11                      | 6,74E-12                  | 5,36E-11                      |
| Cs-137                         | 0–4                         | 1,15E-09                  | 1,78E-09                      | 1,53E-09                  | 2,32E-09                      |
|                                | 5–9                         | 9,68E-10                  | 1,46E-09                      | 1,32E-09                  | 1,96E-09                      |
|                                | 10–14                       | 1,08E-09                  | 1,61E-09                      | 1,52E-09                  | 2,24E-09                      |
|                                | 15–19                       | 1,24E-09                  | 1,84E-09                      | 1,77E-09                  | 2,58E-09                      |
|                                | 20–29                       | 8,09E-10                  | 1,12E-09                      | 1,23E-09                  | 1,71E-09                      |
|                                | 30–39                       | 5,36E-10                  | 7,45E-10                      | 7,05E-10                  | 9,82E-10                      |
|                                | 40–49                       | 3,43E-10                  | 4,49E-10                      | 3,96E-10                  | 5,23E-10                      |
|                                | 50–59                       | 2,88E-10                  | 3,80E-10                      | 3,33E-10                  | 4,44E-10                      |
|                                | 60–69                       | 2,00E-10                  | 2,70E-10                      | 2,33E-10                  | 3,17E-10                      |
|                                | >70                         | 8,94E-11                  | 1,17E-10                      | 1,01E-10                  | 1,33E-10                      |

Сравнивая максимальные значения риска и максимальные значения дозовых коэффициентов, представленные в таблицах 1 и 2, можно видеть, что только для <sup>131</sup>I максимальный риск относится к самой младшей возрастной группе, тогда как для <sup>90</sup>Sr и <sup>137</sup>Cs максимальные значения риска смещены в сторону меньшего возраста по сравнению с возрастом для максимальных дозовых коэффициентов для этих радионуклидов.

#### Количественная оценка риска для отдельных возрастных групп населения

Значения риска  $R_{ijk}$  дополнительной смертности или заболеваемости в отдельных возрастных  $k$ -х группах населения, обусловленного потреблением в течение времени  $\Delta t$   $i$ -го пищевого продукта, содержащего  $j$ -й техногенный радионуклид, могут быть рассчитаны в соответствии с формулой 4:

$$R_{ijk} = (r_{mjk} \cdot q_{mk} + r_{fjk} \cdot q_{fk}) \times \overline{m_{ik}} \times A_{ji} \times \Delta t, (4)$$

где:

$r_{fjk}$  и  $r_{mjk}$  – коэффициенты риска смерти или заболевания за счет поступления 1 Бк активности  $j$ -го радионуклида женщинам ( $f$ ) или мужчинам ( $m$ ) из  $k$ -й возрастной группы, Бк<sup>-1</sup> (см. табл. 2);

$q_{fk}$  и  $q_{mk}$  – доли женщин и мужчин в  $k$ -й возрастной группе (табл. 3);

$\overline{m_{ik}}$  – среднесуточное потребление  $i$ -го продукта в  $k$ -й возрастной группе, кг/сут ;

$\Delta t$  – длительность потребления загрязненного пищевого продукта, сут;

$A_{ji}$  – удельная активность  $j$ -го радионуклида в  $i$ -м пищевом продукте, Бк/кг.

Таблица 3

Относительные доли женщин  $q_{fk}$  и мужчин  $q_{mk}$  в различных  $k$ -ых возрастных группах населения (рассчитано по данным Росстата за 2015 г. [18])

[Table 3]

The relative proportions of female  $q_{fk}$  and male  $q_{mk}$  different  $k$ -th age groups of the population (calculated according to Rosstat data for 2015 [18])

| Возрастная группа<br>[Age group] | $q_{fk}$ | $q_{mk}$ |
|----------------------------------|----------|----------|
| 0–4                              | 0,486    | 0,514    |
| 5–9                              | 0,488    | 0,512    |
| 10–14                            | 0,488    | 0,512    |
| 15–19                            | 0,491    | 0,509    |
| 20–29                            | 0,501    | 0,499    |
| 30–39                            | 0,511    | 0,489    |
| 40–49                            | 0,525    | 0,475    |
| 50–59                            | 0,562    | 0,438    |
| 60–69                            | 0,610    | 0,390    |
| >70                              | 0,712    | 0,288    |

Коэффициент консервативности рискового подхода для  $k$ -й возрастной группы оценивался следующим образом:

$$K_k^R = \frac{R_{accepted}}{R_{ijk}}, \quad (5)$$

где  $R_{accepted}$  – приемлемая величина риска, соответствующая эффективной дозе 5 мЗв и принятая равной  $2,5 \cdot 10^{-4}$ ;

$R_{ijk}$  – расчетная величина риска для  $k$ -й возрастной группы.

#### Количественная оценка риска для населения в целом

Расчет показателей риска,  $R_{ij}$ , (дополнительной смертности или заболеваемости) для ситуации потребления населением в целом (всеми возрастными группами)  $i$ -го пищевого продукта с удельной активностью  $j$ -го радионуклида  $A_{ji}$  может быть выполнен с помощью формулы 6.

$$R_{ij} = \sum (r_{mjk} \cdot f_{mk} + r_{fjk} \cdot f_{fk}) \times \overline{m_{ik}} \times A_{ji} \times \Delta t = r_{ij} \times A_{ji} \times \Delta t \quad (6)$$

где:

$r_{fjk}$  и  $r_{mjk}$  – коэффициенты риска смерти или заболевания за счет поступления 1 Бк активности  $j$ -го радионуклида женщинам и мужчинам из  $k$ -й возрастной группы, Бк<sup>-1</sup>;

$f_{fk}$  и  $f_{mk}$  – доли женщин и мужчин в  $k$ -й возрастной группе от полной численности населения РФ (табл. 4);

$\overline{m_{ik}}$  – среднесуточное потребления  $i$ -го продукта в  $k$ -й возрастной группе, кг/сут;

$\Delta t$  – длительность потребления загрязненных пищевых продуктов, сут;

$A_{ji}$  – удельная активность  $j$ -го радионуклида в  $i$ -м пищевом продукте, принятая равной 1 Бк/кг;

$r_{ij}$  – табулированные значения коэффициентов риска для населения, полученные путем суммирования значений риска для отдельных возрастных групп (с учетом их вклада в общую численность населения) при условии, что удельная активность  $j$ -го радионуклида в  $i$ -м пищевом продукте  $A_{ji}$  равна 1 Бк/кг, потребляется в течение суток, а масса потребляемого  $i$ -го продукта соответствует среднесуточному потреблению в соответствующих возрастных группах, Бк<sup>-1</sup>·кгсут<sup>-1</sup> (табл. 5).

Степень консервативности рискового подхода для населения в целом оценивалась по формуле:

$$K_{нас}^R = \frac{R_{приемл}}{R_{нас}}, \quad (7)$$

где  $R_{нас}$  – средневзвешенная по численности возрастных групп величина риска, связанная с потреблением пищевого продукта с рассматриваемым значением удельной активности в течение года или иного срока.

Таблица 4

**Относительный вклад в общую численность городского и сельского населения женщин  $f_{fk}$  и мужчин  $f_{mk}$  в различных  $k$ -х возрастных группах населения (рассчитано по данным Росстата за 2015 г. [18])**

[Table 4]

**Relative contribution to the total number of urban and rural population of females  $f_{fk}$  and males  $f_{mk}$  of different  $k$ -th age groups of the population (calculated according to the Rosstat data for 2015 [18])**

| Возраст<br>[Age] | Городское население<br>[Urban population] |          | Сельское население<br>[Rural population] |          |
|------------------|-------------------------------------------|----------|------------------------------------------|----------|
|                  | $f_{fk}$                                  | $f_{mk}$ | $f_{fk}$                                 | $f_{mk}$ |
| 0–4              | 0,0296                                    | 0,0313   | 0,0343                                   | 0,0361   |
| 5–9              | 0,0255                                    | 0,0268   | 0,0302                                   | 0,0316   |
| 10–14            | 0,0225                                    | 0,0236   | 0,0273                                   | 0,0287   |
| 15–19            | 0,0222                                    | 0,0230   | 0,0246                                   | 0,0266   |
| 20–29            | 0,0782                                    | 0,0780   | 0,0611                                   | 0,0706   |
| 30–39            | 0,0837                                    | 0,0802   | 0,0671                                   | 0,0707   |
| 40–49            | 0,0695                                    | 0,0628   | 0,0652                                   | 0,0647   |
| 50–59            | 0,0819                                    | 0,0638   | 0,0825                                   | 0,0771   |
| 60–69            | 0,0661                                    | 0,0423   | 0,0589                                   | 0,0450   |
| >70              | 0,0635                                    | 0,0257   | 0,0687                                   | 0,0291   |

Численные значения  $R_{нас}$  для Sr-90 и Cs-137, полученные из условия потребления молока с удельными активностями 1000 Бк/кг и 100 Бк/кг и длительностью потребления в течение года, а также для I-131 с удельной активностью 1000 Бк/кг и длительностью потребления в течение 30 суток представлены в таблице 6.

Таблица 5

**Коэффициенты риска смерти от злокачественных новообразований (ЗНО) для населения, взвешенные по численности возрастных групп и массе потребления пищевых продуктов с учетом возраста потребления Бк<sup>-1</sup>·кгсут<sup>-1</sup>**

[Table 5]

**Risk coefficients for death from malignant neoplasms for the population, weighted by the number of age groups and the mass of food consumption, taking into account the age of consumption Bq<sup>-1</sup>·kg·day<sup>-1</sup>**

| Радионуклид<br>[Radionuclide] | Коэффициент риска смерти для населения от ЗНО, Бк <sup>-1</sup> ·кгсут <sup>-1</sup><br>[Death risk coefficients for population from malignant neoplasms, Bq <sup>-1</sup> ·kg·day <sup>-1</sup> ] |                      |                    |                 |             |             |               |
|-------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|--------------------|-----------------|-------------|-------------|---------------|
|                               | Хлеб [Bread]                                                                                                                                                                                       | Картофель [Potatoes] | Овощи [Vegetables] | Фрукты [Fruits] | Мясо [Meat] | Рыба [Fish] | Молоко [Milk] |
| Cs-137                        | 1,52E-10                                                                                                                                                                                           | 9,76E-11             | 1,62E-10           | 1,43E-10        | 1,3E-10     | 3,9E-11     | 1,52E-10      |
| Sr-90                         | 3,98E-10                                                                                                                                                                                           | 2,57E-10             | 4,25E-10           | 3,86E-10        | 3,37E-10    | 1,06E-10    | 1,18E-09      |
| I-131                         | 2,94E-11                                                                                                                                                                                           | 2,01E-11             | 3,18E-11           | 3,52E-11        | 2,4E-11     | 9,44E-12    | 9,39E-11      |

Средневзвешенные по численности возрастных групп и уровням потребления молока значения риска для населения

Таблица 6

[Table 6]

Weighted by the number of age groups and milk consumption levels, the average risk values for the population]

| Радионуклид<br>[Radionuclid] | Удельная активность, Бк/кг<br>[Activity concentration, Bq/kg] | Длительность потребления, сут<br>[Durability of consumption, days] | Средневзвешенный риск $R_{нас}$<br>[Weighted average risk $R_{нас}$ ] |
|------------------------------|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| Cs-137                       | 1000                                                          | 365                                                                | 1,61E-04                                                              |
| Sr-90                        | 100                                                           | 365                                                                | 4,31E-05                                                              |
| I-131                        | 1000                                                          | 30                                                                 | 2,82E-06                                                              |

### Качественная характеристика риска

Количественные оценки риска, полученные на основе расчета, могут быть сопоставлены с их качественной характеристикой. В таблице 7 приведены числовые значения риска и соответствующие им качественные характеристики. Данная классификация рисков согласуется с классификациями, предложенными в международных документах [5, 8, 19] и в российских методических документах<sup>3</sup>, и позволяет определить местоположение на данной шкале полученных результатов расчета риска и сравнить его с величиной допустимого риска, принятого на основе оптимизации радиационной защиты.

Для примера, приведенного в таблице 6, полученные значения риска для населения квалифицируются в соответствии с таблицей 7 как низкий, очень низкий и минимальный.

### Оценка консервативности дозового и рискового подходов

На рисунках 1–3 показаны возрастные распределения эффективных доз и рисков смерти для соответствующих

значений удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в молоке и молочных продуктах, употребляемых в течение 365 суток, и аналогичное распределение для  $^{131}\text{I}$  при длительности употребления молока 30 суток.

Обращают на себя внимание особенности изменения доз и рисков, начиная с возраста 20 лет: эффективные дозы остаются на одном уровне, поскольку дозовые коэффициенты остаются неизменными для взрослого населения, тогда как риски с возрастом уменьшаются.

Другой особенностью представленных данных являются различия в возрастах, соответствующих максимальным значениям эффективных доз и рисков для  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ : максимальные значения риска смещаются в сторону младших возрастов.

Важно отметить, что на рисунках слева нет случаев превышения дозового критерия 5 мЗв/год для всех рассматриваемых радионуклидов, тогда как имеет место превышение уровня риска  $2,5 \times 10^{-4}$  для цезия-137 в возрастных группах от 10 до 30 лет.

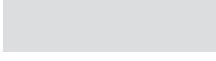
Степень консервативности дозового и рискового подходов для отдельных возрастных групп оценены для мак-

Сопоставление количественных и качественных характеристик риска

Таблица 7

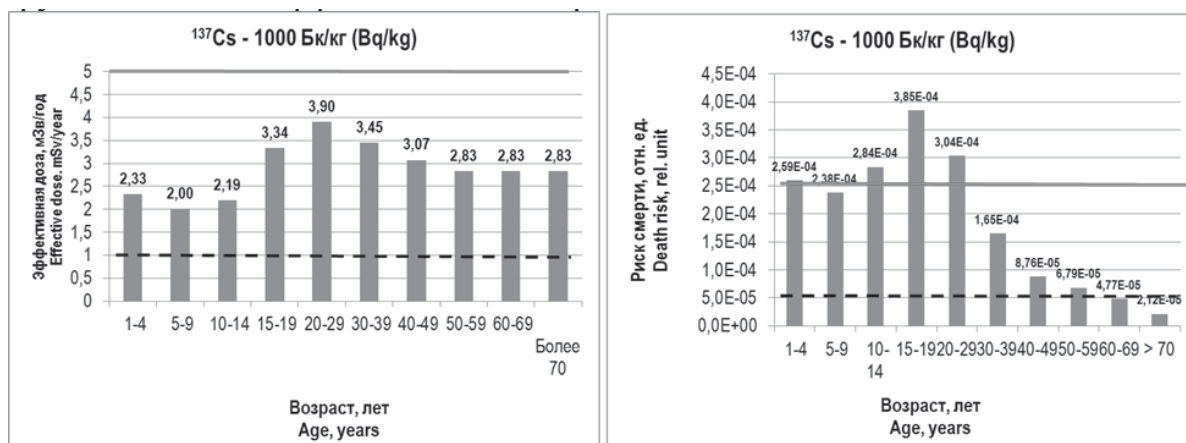
[Table 7]

Scale of quantitative and qualitative characteristics of risk]

| Качественная характеристика<br>[Qualitative characteristics] |  | Количественная характеристика<br>[Quantitative characteristic] |
|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Существенный<br>[Essential]                                  |  | $3 \cdot 10^{-3} - 10^{-2}$                                    |
| Умеренный<br>[Moderate]                                      |  | $10^{-3} - 3 \cdot 10^{-3}$                                    |
| Низкий<br>[Low]                                              |  | $10^{-4} - 10^{-3}$                                            |
| Очень низкий<br>[Very low]                                   |  | $10^{-5} - 10^{-4}$                                            |
| Минимальный<br>[Minimum]                                     |  | $10^{-6} - 10^{-5}$                                            |
| Пренебрежимо малый<br>[Negligible]                           |                                                                                     | $< 10^{-6}$                                                    |

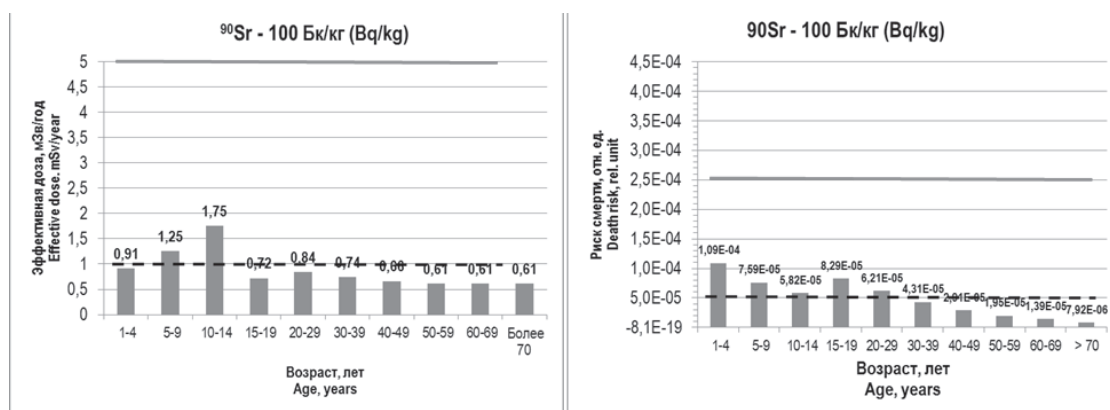
<sup>3</sup> Оценка радиационного риска у пациентов при проведении рентгенодиагностических исследований: Методические рекомендации. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2015. 42 с.

[Assessment of radiation risks of patients undergoing diagnostic examinations with the use of ionizing radiation. Methodical guidelines. Moscow. Federal center of hygiene and epidemiology of Rospotrebnadzor, 2015, 42 p.]



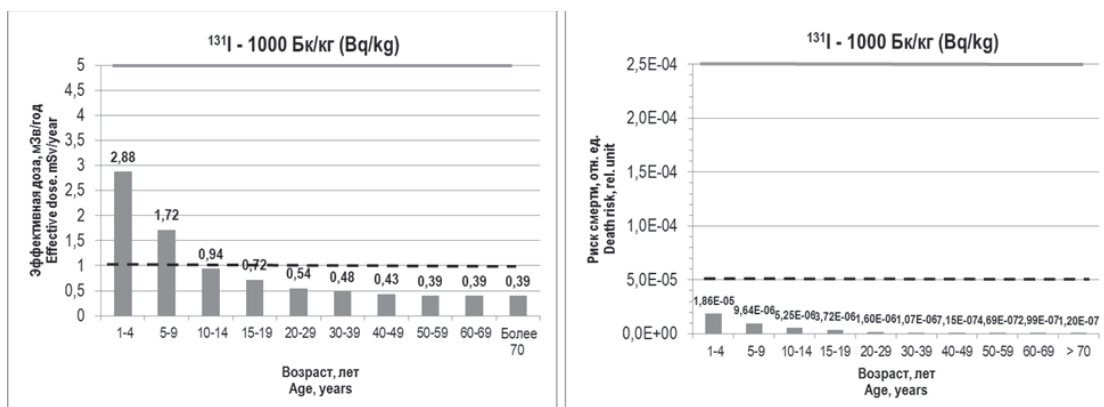
**Рис. 1.** Эффективные дозы облучения (слева) и риски смерти (справа) при потреблении молока и молочных продуктов с удельной активностью  $^{137}\text{Cs}$  1000 Бк/кг в течение года (прерывистой и сплошной линией слева обозначены значения эффективных доз 1 и 5 мЗв, а справа – уровни риска  $5,0 \times 10^{-5}$  и  $2,5 \times 10^{-4}$  соответственно)

[Fig. 1. Effective doses (left) and risks of death (right) when milk are consumed with activity concentration of  $^{137}\text{Cs}$  1000 Bq/kg during the year. (The broken and solid line on the left indicates effective doses of 1 and 5 mSv, and to the right – the risk levels of  $5.0 \times 10^{-5}$  and  $2.5 \times 10^{-4}$ , respectively)]



**Рис. 2.** Эффективные дозы облучения (слева) и риски смерти (справа) при потреблении молока и молочных продуктов с удельной активностью  $^{90}\text{Sr}$  100 Бк/кг в течение года (прерывистой и сплошной линией слева обозначены значения эффективных доз 1 и 5 мЗв, а справа – уровни риска  $5,0 \times 10^{-5}$  и  $2,5 \times 10^{-4}$  соответственно)

[Fig. 2. Effective doses (left) and risks of death (right) when milk are consumed with activity concentration of  $^{90}\text{Sr}$  100 Bq/kg during the year. (The broken and solid line on the left indicates effective doses of 1 and 5 mSv, and to the right – the risk levels of  $5.0 \times 10^{-5}$  and  $2.5 \times 10^{-4}$ , respectively)]



**Рис. 3.** Эффективные дозы облучения (слева) и риски смерти (справа) при потреблении молока и молочных продуктов с удельной активностью  $^{131}\text{I}$  1000 Бк/кг в течение 30 суток (прерывистой и сплошной линией слева обозначены значения эффективных доз 1 и 5 мЗв, а справа – уровни риска  $5,0 \times 10^{-5}$  и  $2,5 \times 10^{-4}$  соответственно)

[Fig. 3. Effective doses (left) and risks of death (right) when milk are consumed with activity concentration of  $^{131}\text{I}$  1000 Bq/kg during the year. (The broken and solid line on the left indicates effective doses of 1 and 5 mSv, and to the right – the risk levels of  $5.0 \times 10^{-5}$  and  $2.5 \times 10^{-4}$ , respectively)]

симальных значений доз и рисков, то есть для минимального запаса консервативности уровня вмешательства по удельной активности пищевых продуктов (для всех остальных групп коэффициент консервативности выше).

Для населения в целом степень консервативности целесообразнее оценивать по средневзвешенным по численности отдельных возрастных групп значениям эффективных доз и рисков.

В таблице 8 представлены результаты оценки консервативности дозового и рискованного подхода.

Из результатов, представленных в таблице 8, видно, что степень консервативности дозового и рискованного подхода при оптимизации радиационной защиты для населения в целом при потреблении продуктов, содержащих  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ , оценивается близкими значениями, тогда как для  $^{131}\text{I}$  степень консервативности рискованного подхода в 10 раз выше дозового подхода. Важно также отметить, что степень консервативности для населения в целом, как правило, выше, чем степень консервативности для отдельных возрастных групп, как по дозе, так и по риску.

На основе полученных данных представляет интерес рассчитать значения рисков, приходящихся на единицу эффективной дозы, и обусловленных потреблением пищевых продуктов, содержащих цезий-137, стронций-90 и йод-131, и сравнить их с номинальным коэффициентом риска. Такое сравнение представляется возможным, если рассчитать средневзвешенные по численности от-

дельных возрастных групп значения эффективных доз и рисков (см. рис. 1–3, табл. 4). Средневзвешенные значения рассчитывались из тех же условий: потребление молока с удельной активностью 1000 Бк/кг и 100 Бк/кг в течение года для цезия-137, стронция-90 соответственно и 1000 Бк/кг в течение 30 суток йода-131. Результаты расчета представлены в таблице 9.

Сравнивая полученные значения коэффициентов риска с номинальным коэффициентом риска, можно отметить, что для  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  полученные значения достаточно близки к номинальным коэффициентам риска злокачественных новообразований для населения  $5,5 \times 10^{-2} \text{ Зв}^{-1}$ . Для  $^{131}\text{I}$  полученное значение коэффициента риска отличается от номинального почти в 10 раз, что, по-видимому, связано с особенностями модели оценки риска и ее параметров для  $^{131}\text{I}$ , а также особенностями метаболизма – избирательном накоплении йода-131 преимущественно в щитовидной железе.

Представленные расчеты коэффициентов риска на единицу дозы подтверждают, по крайней мере, для  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ , что номинальные коэффициенты риска применимы исключительно для населения в целом.

Важным элементом оптимизации радиационной защиты является выбор стратегии защиты населения:

- защита населения в целом;
- защита отдельных возрастных групп с максимальными дозами или максимальными рисками.

Таблица 8

**Коэффициенты консервативности уровня радиационной защиты населения при использовании дозового и рискованного подходов при оптимизации**

[Table 8]

**Coefficients of conservatism of the level of radiation protection of the population when using the dose and risk approaches to optimization**

| Радионуклид<br>[Radionuclide] | Дозовый подход<br>[The dose approach]                                                                                                    |                                                                                            | Рискованый подход<br>[The risk approach]                                                                                                 |                                                                                                |
|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                               | Минимальный коэффициент консервативности для отдельной возрастной группы<br>[Minimum coefficient of conservatism for selected age group] | Коэффициент консервативности для населения<br>[Coefficient of conservatism for population] | Минимальный коэффициент консервативности для отдельной возрастной группы<br>[Minimum coefficient of conservatism for selected age group] | Коэффициент консервативности для населения<br>[Coefficient of conservatism for the population] |
| Cs-137                        | 1,3 (20–29 лет [years])                                                                                                                  | 1,5                                                                                        | 0,7 (15–19 лет)                                                                                                                          | 1,6                                                                                            |
| Sr-90                         | 2,8 (10–14 лет [years])                                                                                                                  | 5,8                                                                                        | 1,8 (1–4 года)                                                                                                                           | 5,8                                                                                            |
| I-131                         | 1,7 (1–4 года [years])                                                                                                                   | 8,3                                                                                        | 13 (1–4 года)                                                                                                                            | 88                                                                                             |

Таблица 9

**Результаты оценки средневзвешенных значений эффективных доз и рисков и коэффициентов риска на единицу эффективной дозы при потреблении пищевых продуктов, содержащих  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{131}\text{I}$**

[Table 9]

**The results of the estimation of the weighted average values of effective doses and risks and risk coefficients per effective dose unit for the consumption of food products containing  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{131}\text{I}$**

| Радионуклид<br>[Radionuclide] | Средневзвешенная эффективная доза (мЗв)<br>[Weighted average effective dose (Sv)] | Средневзвешенный риск, отн. ед.<br>[Weighted average risk], rel.un. | Коэффициент риска, $\text{Зв}^{-1}$<br>[Risk coefficient, $\text{Sv}^{-1}$ ] |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| $^{137}\text{Cs}$             | $3,28 \times 10^{-3}$                                                             | $1,61 \times 10^{-4}$                                               | $4,90 \times 10^{-2}$                                                        |
| $^{90}\text{Sr}$              | $0,86 \times 10^{-3}$                                                             | $4,31 \times 10^{-5}$                                               | $5,01 \times 10^{-2}$                                                        |
| $^{131}\text{I}$              | $0,6 \times 10^{-3}$                                                              | $2,82 \times 10^{-6}$                                               | $4,70 \times 10^{-3}$                                                        |

Дозовый и рисковый подходы позволяют реализовать оба варианта стратегии, однако стратегия защиты всего населения является более предпочтительной, поскольку, во-первых, коэффициенты консервативности близки для дозового и рискового подходов, а во-вторых, коэффициенты риска на единицу дозы близки к номинальному коэффициенту риска для населения. Что касается йода-131, то использование эффективной дозы как меры защиты населения для данного радионуклида не практикуется, а в НРБ-99/2009 используется величина поглощенной дозы.

Сравнивая особенности дозового и рискового подхода, можно отметить, что рисковый подход в отношении отдельных возрастных групп является более предпочтительным, так как эффективная доза не всегда является адекватной мерой риска и, кроме того, возраст, для которого риск является максимальным, не всегда соответствует возрасту с максимальной эффективной дозой.

Из таблицы 7 видно, что для стронция-90 и йода-131 имеется достаточно большой запас консервативности по удельной активности радионуклидов, а значит, можно выбрать более высокие значения удельной активности, чем принято в НРБ-99/2009, учитывая, что в общем руководстве по безопасности GSG-2 [20] даны в 2–3 раза более высокие значения.

Подводя итог обсуждению, можно отметить, что использование рискового подхода, наряду с дозовым подходом к оптимизации радиационной защиты населения, является важным дополнительным инструментом оптимизации, особенно для младших возрастных групп.

### Выводы

Результаты сопоставления соответствия аварийного уровня вмешательства по дозе внутреннего облучения 5 мЗв/год, принятого в НРБ-99/2009 в качестве критерия А, и значений допустимой удельной активности  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{131}\text{I}$  в первый год после аварии, полученные с использованием подходов, основанных на величине дозы и величине риска показали:

1. При годовом потреблении молока с удельной активностью  $^{137}\text{Cs}$  1000 Бк/кг оценки консервативности принятых в НРБ значений уровней вмешательства по удельной активности пищевых продуктов, выполненные на основе дозового и рискового подходов для населения в целом, дали удовлетворительную согласованность. При оценке консервативности уровня вмешательства для отдельных возрастных групп показано отсутствие запаса консервативности по риску для возрастных групп от 10 до 30 лет.

2. При годовом потреблении молока с удельной активностью  $^{90}\text{Sr}$  100 Бк/кг имеется примерно 5-кратный запас консервативности уровня вмешательства по дозе и риску для населения в целом и примерно двукратный запас – для возрастных групп с наибольшей дозой и наибольшим риском, причем наибольшие риски относятся к возрастной группе 1–4 года, а наибольшие дозы – к возрастной группе 15–19 лет.

3. При потреблении молока с удельной активностью  $^{131}\text{I}$  1000 Бк/кг в течение 30 сут значение коэффициента консервативности по риску для населения в 10 раз превышает коэффициент консервативности по дозе. Для отдельных возрастных групп коэффициенты консервативности по риску также существенно выше, чем по дозе. Использование эффективной дозы для принятия реше-

ний в отношении уровней вмешательства для йода-131, особенно для детского населения, нецелесообразно.

4. Коэффициенты отношения полученных в данной работе средневзвешенных по численности отдельных возрастных групп значений риска к средневзвешенным значениям эффективных доз для  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  близки к номинальному коэффициенту риска злокачественных новообразований для населения  $5,5 \times 10^2 \text{ Зв}^{-1}$ , что подтверждает приемлемость номинальных коэффициентов риска для оптимизации радиационной защиты для населения в целом при условии оценки средневзвешенного по численности возрастных групп значения эффективной дозы.

5. Оптимизация радиационной защиты населения, основанная на оценке средневзвешенного по численности отдельных возрастных групп значения эффективной дозы или средневзвешенного значения риска, является более предпочтительной, чем по дозе облучения критической группы. Для отдельных возрастных групп более предпочтительной является оптимизация по величине риска, поскольку величина эффективной дозы в младших возрастных группах не всегда является адекватной мерой риска.

### Литература

1. Репин, В.С. Критерии защиты населения после радиационной аварии: структура потребления пищевых продуктов и особенности формирования доз внутреннего облучения различных возрастных групп населения Российской Федерации / В.С. Репин // Радиационная гигиена. – 2018. – Т.11, № 2. – С. 18-24.
2. UNSCEAR, 2006. Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation Report to the General Assembly with Scientific Annexes. United Nations, New York, NY.
3. Health risks from exposure to low levels of ionizing radiation: BEIR VII Phase 2. Board on Radiation Effects Research. National Research Council of the National Academies, Washington, D.C., 2006.
4. Federal Guidance Report 13: Cancer Risk Coefficients for Environmental Exposure to Radionuclides [EPA 402-R-99-001], 1999, 335p.
5. Публикация 103-й Международной Комиссии по радиационной защите (МКРЗ): пер с англ. / под общей ред. М.Ф. Киселева и Н.К. Шандалы. – М.: Изд. ООО ПКФ «Алана», 2009. – 312 с.
6. Репин, Л.В. Об использовании коэффициентов ущерба для количественной оценки последствий воздействия ионизирующего излучения / Л.В. Репин // Радиационная гигиена. – 2011. – Т. 4, № 1. – С. 35-37.
7. Меняйло, А.Н. Пожизненный радиационный риск в результате внешнего и внутреннего облучения: метод оценки / А.Н. Меняйло, С.Ю. Чекин, В.В. Кашеев, М.А. Максюттов, А.М. Корело, К.А. Туманов, Е.А. Прякин, С.С. Ловачев, С.В. Карпенко, П.В. Кашеева, В.К. Иванов // Радиация и риск. – 2018. – Т. 27, № 1. – С. 8-21.
8. Low dose extrapolation of radiation-related cancer risk: ICRP Publication 99. Annals of the ICRP, 2005, Vol. 35, No 4.
9. Онищенко, Г.Г. Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду / Г.Г. Онищенко, С.М. Новиков, Ю.А. Рахманин, С.Л. Авалиани, К.А. Буштуева; под ред. Ю.А. Рахманина, Г.Г. Онищенко. – М.: НИИ ЭЧ и ГОС, 2002. – 408 с.
10. Ivanov V.K., Tsyb A.F., Konogorov A.P., Rastopchin E.M., Khait S.E. Case-control analysis of leukaemia among Chernobyl accident emergency workers residing in the Russian Federation, 1986-1993. J. Radiol. Prot., 1997, V. 17, N 3, pp. 137-157.

11. Health Risk Assessment from the Nuclear Accident after the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami, Based on a Preliminary Dose Estimation. Publication of the World Health Organization, 2013, 172 p.
12. Сынзыныс, Б.И. Экологический риск / Б.И. Сынзыныс, Е.Н. Тянтова, О.П. Мелехова. – М.: Логос, 2005. – 167 с.
13. Ivanov V.K., Tsyb A.F., Agapov A.M., Panfilov A.P., Kaidalov O.V., Gorski A.I., Maksoutov M.A., Suspitsin Y.V., Vaizer V.I. Concept of optimization of the radiation protection system in the nuclear sector: management of individual cancer risks and providing targeted health care. J. Radiol. Prot., 2006, V. 26, pp. 361-374.
14. ICRP, 1990. Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides – Part 1. ICRP Publication 56. Ann. ICRP 20 (2).
15. ICRP, 1993. Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides – Part 2 Ingestion Dose Coefficients. ICRP Publication 67. Ann. ICRP 23 (3-4)
16. ICRP, 1995. Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides – Part 3 Ingestion Dose Coefficients. ICRP Publication 69. Ann. ICRP 25 (1).
17. Радиационная защита и безопасность источников излучения. Международные основные нормы безопасности. Международное Агентство по атомной энергии. – Вена, 2015.
18. Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики: [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/population/demography/#](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/population/demography/#) (дата обращения: 01.08.2018)
19. NCRP – National Council on Radiation Protection and Measurements. Radiation Dose Management for Fluoroscopically-Guided Interventional Medical Procedures. Report No. 168 – 2010.
20. Нормы безопасности МАГАТЭ. Критерии для использования при обеспечении готовности и реагирования в случае ядерной или радиологической аварийной ситуации. Серия норм безопасности МАГАТЭ № GSG-2, 2012. – 132 с.

Поступила: 01.08.2018 г.

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

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

**Для цитирования:** Репин В.С., Репин Л.В. Критерии защиты населения после радиационной аварии: использование радиационного риска для анализа и принятия оптимальных решений по ограничению потребления пищевых продуктов, загрязненных техногенными радионуклидами // Радиационная гигиена. – 2018. – Т. 11, № 4. – С. 28-38. DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-4 -28-38

## Criteria for the protecting of population after radiation accident: use of radiation risk for analysis and optimal decisions making to limit the consumption of food contaminated by technogenic radionuclides

Viktor S. Repin, Leonid V. Repin

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

*The purpose of this paper is to assess the compliance of criterion A, adopted in NRB-99/2009 as emergency level of dose intervention, to permissible values of specific activity of  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{131}\text{I}$  in food products in the first year after the accident. Assessments are made on the basis of comparison of the conservativeness*

**Viktor S. Repin**

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

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

coefficients by dose and the magnitude of the risk. The results of the evaluation showed that estimates of the doses and risks for  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$ , calculated on the basis of weighting by the number of age groups, are equally conservative. For  $^{131}\text{I}$ , the conservative factors for dose and risk vary significantly, which indicates that it is not appropriate to use an effective dose to optimization of radiation protection for the given radionuclide. The ratios of the risk-weighted average weighted by the number of individual age groups to the weighted average effective dose values for  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  are close to the nominal risk of death from malignant neoplasms for the population of  $5 \cdot 10^{-5}$ , which confirms that nominal risk factors can only be used for the general population. Two variants of the criteria for optimization of the radiation protection of the population are proposed: 1) by the value of the average weighted by the number of individual age groups, the value of the effective dose, or 2) the value of the average weighted by the number of individual age groups of risk. It is shown that to optimize the protection of individual age groups, the more preferable criterion is the risk value calculated for a given age group, since the maximum effective dose of some age group does not always correspond to the maximum risk.

**Key words:** food products,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ , specific activity, radiation dose, risk, intervention level criteria.

## References

1. Repin V.S. Criteria for the protection of population after radiation accident: food consumption structure and peculiarities of the internal doses formation of various age groups of the population of the Russian Federation. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*, 2018; 11(1):18-24. (In Russian)
2. UNSCEAR, 2006. Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation Report to the General Assembly with Scientific Annexes. United Nations, New York, NY.
3. Health risks from exposure to low levels of ionizing radiation: BEIR VII Phase 2. Board on Radiation Effects Research. National Research Council of the National Academies, Washington, D.C., 2006.
4. Federal Guidance Report 13: Cancer Risk Coefficients for Environmental Exposure to Radionuclides [EPA 402-R-99-001], 1999, 335p.
5. ICRP, 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2-4) (In Russian)
6. Repin L.V. On the Use of Detriment Parameters for the Quantitative Evaluation of Radiation Exposure. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*, 2011, V.4, № 1, pp. 35-37. (In Russian)
7. Menyaylo A.N., Chekin S.Yu., Kashcheev V.V., Maksyutov M.A., Korelo A.M., Tumanov K.A., Pryakhin E.A., Lovachev S.S., Karpenko S.V., Kashcheeva P.V., Ivanov V.K. Lifetime radiation risk due to the external and internal exposure: method of assessment. *Radiatsiya i risk = Radiation and risk*, 2018, Vol. 27. № 1, pp. 8-21 (In Russian)
8. Low dose extrapolation of radiation-related cancer risk: ICRP Publication 99. *Annals of the ICRP*, 2005, Vol. 35, No 4.
9. Onishchenko G.G., Novikov S.M., Rakhmanin Yu.A., Avaliani S.L., Bushtueva K.A. Ed.: Rakhmanin Yu.A., Onishchenko G.G. Basics of the assessment of the risk to the health of the public due to the chemical substances contaminating the environment. Moscow, 2002, 408 p. (In Russian)
10. Ivanov V.K., Tsyb A.F., Konogorov A.P., Rastopchin E.M., Khait S.E. Case-control analysis of leukaemia among Chernobyl accident emergency workers residing in the Russian Federation, 1986-1993. *J. Radiol. Prot.*, 1997, V. 17, N 3, pp. 137-157.
11. Health risk assessment from the nuclear accident after the 2011 Great East Japan earthquake and tsunami, based on a preliminary dose estimation. Publication of the World Health Organization, 2013, 172 p.
12. Synzynys B.I., Tyantova E.N., Melekhova O.P. Ecological risk, Moscow, Logos, 2005, 167 p. (In Russian)
13. Ivanov V.K., Tsyb A.F., Agapov A.M., Panfilov A.P., Kaidalov O.V., Gorski A.I., Maksioutov M.A., Suspitsin Y.V., Vaizer V.I. Concept of optimization of the radiation protection system in the nuclear sector: management of individual cancer risks and providing targeted health care. *Journal of Radiation Protection*, 2006, V. 26, pp. 361-374.
14. ICRP, 1990. Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides – Part 1. ICRP Publication 56. Ann. ICRP 20 (2).
15. ICRP, 1993. Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides – Part 2 Ingestion Dose Coefficients. ICRP Publication 67. Ann. ICRP 23 (3-4).
16. ICRP, 1995. Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides – Part 3 Ingestion Dose Coefficients. ICRP Publication 69. Ann. ICRP 25 (1).
17. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards GSR Part 3. IAEA, Vienna, 2015. (In Russian)
18. Official website of the Federal governmental statistical service. – Available on: [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/population/demography/#](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/population/demography/#) (Accessed: August 01, 2018) (In Russian)
19. NCRP – National Council on Radiation Protection and Measurements. Radiation Dose Management for Fluoroscopically-Guided Interventional Medical Procedures. Report No. 168 – 2010.
20. IAEA Safety Standards Series. Criteria for the provision of the preparedness and response in case of nuclear or radiological emergency. Safety guide № GSG-2, 2012, 132 p. (In Russian)

Received: August 01, 2018

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

**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 citation: Repin V.S., Repin L.V. Criteria for the protecting of population after radiation accident: use of radiation risk for analysis and optimal decisions making to limit the consumption of food contaminated by technogenic radionuclides. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*, 2018, Vol. 11, No. 4, pp.28-38. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-4-28-38**

## Analysis of the long-term dynamics of external doses of the population after the Chernobyl accident

Vladislav Yu. Golikov

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 an analysis of the dynamics of individual doses of external exposure among the population living for almost 20 years in the territories affected by the radioactive contamination due to the Chernobyl NPP accident. The dynamics of the average effective dose of the external exposure of the inhabitants in the period of 5 to 20 years after the Chernobyl fallout is well described by processes that consider the radioactive decay of cesium radionuclides and their natural migration. The distribution of individual doses of external exposure among residents, normalized to the average dose in the settlement corresponds to a logarithmically normal law with the time-stable parameters: the geometric mean  $\sim 0.9$  and geometric standard deviation  $\sim 1.5$ , which allows, in particular, predicting the dose for the critical group of population or for a representative person. Comparison of the mean effective doses of external exposure of the settlement residents estimated based on the results of two different measurement technologies (using TLD-method and measurements of dose rates in air in various settlement locations) indicated their good agreement for the 17 years period after the fallout. For two settlements, where measurements were performed in 2003, the relative differences in mean effective doses did not exceed 12%. It allows using the previously developed model of external exposure for dose estimation to the population residing on the territories contaminated after the Chernobyl accident.*

**Key words:** Chernobyl accident, external exposure of people, effective dose, gamma-radiation dose rate, thermoluminescent dosimeters.

## Анализ долгосрочной динамики доз внешнего облучения населения после Чернобыльской аварии

В.Ю. Голиков

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 работе представлен анализ динамики индивидуальных доз внешнего облучения населения, проживающего в течение почти 20 лет на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате Чернобыльской аварии. Показано, что динамика средних значений эффективной дозы внешнего облучения жителей в этот период времени после чернобыльских выпадений хорошо описывается процессами, учитывающими радиоактивный распад и естественную миграцию радионуклидов цезия. Распределение индивидуальных доз внешнего облучения жителей населенных пунктов, нормированное на среднее значение дозы в населенных пунктах, соответствует логарифмически нормальному закону с устойчивыми во времени параметрами: геометрическим средним значением  $\sim 0,9$  и геометрическим стандартным отклонением  $\sim 1,5$ , что позволяет, в частности, прогнозировать значение дозы у критической группы населения или для репрезентативного индивидуума (a representative person). Сравнение значений средних эффективных доз внешнего облучения у жителей населенных пунктов, оцененных на основании результатов двух различных методов измерений (индивидуальных доз с использованием термoluminesцентных дозиметров и измерений мощностей доз в воздухе в различных локациях населенных пунктов), показало их хорошее согласие через 17 лет после аварии. В двух населенных пунктах, где проводились измерения в 2003 г., относительные различия значений средних эффективных доз не превышали 12%. Это позволяет и в дальнейшем использовать ранее разработанную модель внешнего облучения для оценки доз у населения, проживающего на территориях, загрязненных вследствие чернобыльской аварии.*

**Ключевые слова:** чернобыльская авария, внешнее облучение населения, эффективная доза, мощность дозы гамма-излучения, термoluminesцентные дозиметры.

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

Голиков Владислав Юрьевич

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: sg235@rambler.ru

## Introduction

For the first time systematic studies of the doses of external exposure of the population as a result of large-scale releases of radioactive materials into the environment were performed after the Chernobyl accident on the territories of the former Soviet Union, later the Russian Federation, Ukraine and Belarus. Most of the measurements were performed in the 1986-1993 period and the main results were published during the first 10 years after the accident [1-5].

Two approaches and the two corresponding sets of measurement results were used for the assessment of the effective dose from external exposure to the population living on the territories contaminated after the Chernobyl accident:

the gamma dose rates in air in different location of the anthropogenic environment;

individual doses to representatives of different population groups measured by thermoluminescent dosimetry technique (TLD-method).

In the first case, the evaluation of the effective dose for any period of time was performed using a dosimetric model of external exposure of the population living in a contaminated area [6]. Such model relates the source term information, radionuclide concentrations in the environment, or gamma dose rates in air to the doses of people and in addition to the intensity of external radiation fields (measured values of gamma dose rates in the environment) also includes specific parameters that are not directly related to the radiation accident, but which largely determine the accumulation of the dose over a long period of time. First of all, they include characteristics of the behavior of various social and age population groups in the contaminated area (occupancy times), protective properties of residential and industrial premises.

The individual dose measurement allows accurately considering all factors that influence a dose of external exposure to the residents of contaminated areas, due to the fact that the dosimeter is being worn on the surface of the human body during the whole period of measurement. The sample of adult residents in the settlement, as a rule, included the representatives of three population groups living in different types of houses (one-story wooden or one-story brick houses and multi-story houses): mainly working indoors (group 1 – employees, sellers, teachers, etc.) mainly working outdoors (group 2 – agricultural workers) and pensioners.

As a rule, the number of people in the sample was not less than 30-50 which made it possible to reliably estimate the parameters of the individual dose distribution of external radiation among the residents of settlement. A sufficiently long period of dosimeters wearing (usually within a month) excludes the influence of the differences in the behavior regimes of people in separate days (weekends and work days, rainy and sunny days, etc.) on the results of measurements.

Nevertheless, when performing the individual dose measurements, a number of subjective and objective difficulties may arise, that affects the reliability or inaccuracy of the obtained results:

In the violation of the instructions not all residents constantly wear the individual dosimeter and some residents deliberately distorted the results of the measurements by placing dosimeters in places with an abnormally high dose rate (for example, under watercourses).

## Введение

Впервые систематические исследования доз внешнего облучения населения в результате крупномасштабных выбросов радиоактивных веществ в окружающую среду были выполнены после Чернобыльской аварии на территориях бывшего Советского Союза (позже Российской Федерации, Украины и Беларуси). Большинство измерений было выполнено в период 1986–1993 гг., и основные результаты были опубликованы в течение первых 10 лет после аварии [1–5].

Для оценки эффективной дозы внешнего облучения населения, проживающего на территориях, загрязненных после аварии на ЧАЭС, использовали два подхода и соответствующие им различные наборы результатов измерений:

– мощностей доз гамма-излучения в воздухе в отдельных локациях антропогенной среды;

– индивидуальных доз внешнего излучения у представителей различных групп населения, полученных методом термолюминесцентной (ТЛ) дозиметрии.

В первом случае оценку величины эффективной дозы за какой-либо промежуток времени проводили с использованием дозиметрической модели формирования дозы внешнего облучения населения, проживающего на загрязненной территории [6]. Эта модель, помимо интенсивности полей внешнего излучения (измеренные значения мощностей доз внешнего излучения в окружающей среде), включает также специфические параметры, прямо не связанные с радиационной аварией, но в значительной степени определяющие накопление дозы за длительный промежуток времени. В первую очередь к ним относят характеристики поведения различных социальных и возрастных групп населения на загрязненной территории, защитные свойства жилых и производственных помещений.

Измерение индивидуальных доз позволяет наиболее точно учесть все факторы, влияющие на формирование дозы внешнего облучения у жителей загрязненных территорий, т.к. ТЛ-дозиметр в течение всего периода измерений носится на поверхности тела человека. Выборка взрослых жителей в НП включала представителей трех групп населения, проживающих в домах различного типа (одноэтажных деревянных или каменных домах, многоэтажных домах): работающих преимущественно внутри помещений (группа 1 – служащие, продавцы, учителя и т.п.), работающих преимущественно вне помещений (группа 2 – сельскохозяйственные работники) и пенсионеров. Как правило, количество жителей НП в выборке составляло не менее 30–50 человек, что позволяло достоверно оценить параметры распределения индивидуальной дозы внешнего излучения. Достаточно длительный период ношения дозиметров (как правило, в течение месяца) исключал влияние на результаты измерений различий в режимах поведения людей в отдельные дни (выходные и рабочие дни, дождливые и солнечные дни и т.п.). Тем не менее, при проведении измерений индивидуальных доз внешнего излучения у жителей загрязненных территорий возникал ряд субъективных и объективных трудностей, влиявших на достоверность или погрешность получаемых результатов:

– в нарушение инструкций, не все жители постоянно носили индивидуальные дозиметры, а некоторые жители умышленно искажали результаты измерений, помещая дозиметры в места с аномально высокой мощностью дозы (например, под водостоки);

It is difficult to perform their reliable separation when the value of the Chernobyl dose component is comparable to the dose of natural radiation. Hence the individual dose measurements were performed in those settlements where the average surface activity of the long-lived  $^{137}\text{Cs}$  in the soil was not less than  $555 \text{ kBq m}^{-2}$ .

The results of the doses analysis to the inhabitants in the most contaminated Bryansk region of the Russian Federation in 1989–1994 were published in [7] and showed good agreement between the estimates of the effective doses due to external exposure which were performed according to both approaches (the difference in the mean doses of settlement residents did not exceed 1.5 times with a confidence level of 95%).

Later in 2003 (17 years after the accident and 10 years after the end of the main series of measurements in 1993) within the international Project RER/9/074 under the auspices of the IAEA, new field studies of the radiation situation in two villages of Bryansk region – Smyalch and Veprin were performed. In the course of these studies, in particular, gamma-radiation dose rates in the different locations of the settlements and individual doses at residents using TL dosimeters were measured. It was the last successful event for measuring individual doses for residents of contaminated areas by TL dosimetry. Later, none of the attempts to repeat the measurements of individual doses at residents of contaminated areas was successful because of their reluctance to participate in measurements.

#### The objectives of this paper were:

Analysis of the long-term dynamics of the distribution characteristics of the effective dose due to external exposure among the residents of rural settlements after a large-scale release of radioactive materials into the environment assessed by the method of the individual dose measurements.

Comparison of average effective dose values due to external exposure of inhabitants in the remote period after the Chernobyl accident (17 years later), obtained by the method of the TLD measurements of individual doses and on the basis of measurements of dose rates.

The paper is mainly based on the materials of long-term dosimetric studies in the two rural settlements (Smyalch and Veprin) of Bryansk Region of the Russian Federation.

#### Materials and methods

Within the framework of the international project RER/9/074 selective radiological surveys in settlements Veprin and Smyalch (the surface  $^{137}\text{Cs}$  activity in soil on the settlements territory were  $866 \text{ kBq m}^{-2}$  and  $646 \text{ kBq m}^{-2}$  as of 26.04.86) in the Bryansk region were performed by experts of the St. Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene in July 2003.

Measurements of individual external doses in the settlement residents were performed with the use of the TLD technique with LiF-detectors (DTG-4 LiF:Mg,Ti; monocrystals of 5 mm in diameter and 1 mm in thickness). Each individual dosimeter with a wall thickness from tissue-equivalent plastics of  $1 \text{ g cm}^{-2}$  contained two detectors. The detectors were calibrated in the field of the reference  $^{137}\text{Cs}$  source at the Institute of Metrology in St. Petersburg. The basic relative error of the measurement did not exceed  $\pm 15\%$  per detector with a confidence level of 95%. The detection limit defined as the smallest value of dose that can be detected at a specified (95%) confidence level was determined to be  $20 \mu\text{Gy}$ .

– при значении чернобыльского компонента дозы, сравнимом с дозой природного излучения, трудно выполнить их достоверное разделение, поэтому, как правило, измерения проводили в тех НП, где средняя поверхностная активность долгоживущего радионуклида  $^{137}\text{Cs}$  в почве составляла не менее  $555 \text{ kBq m}^{-2}$ .

Результаты анализа доз внешнего облучения населения в 1989–1994 гг., проживающего в наиболее загрязненных районах Брянской области РФ, были опубликованы в [7] и показали хорошее согласие оценок эффективных доз, выполненных согласно обоим подходам (расхождение значений средних доз у жителей НП не превышало 1,5 раз с доверительной вероятностью 95%).

Позже, в 2003 г. (т.е. через 17 лет после аварии и через 10 лет после окончания в 1993 г. основной серии измерений) в рамках международного проекта RER/9/074 под эгидой МАГАТЭ были проведены новые полевые исследования радиационной обстановки в двух селах Брянской области (Смяльч и Веприно). В ходе этих исследований, в частности, проводились измерения мощностей доз гамма-излучения в различных локациях НП и индивидуальных доз у жителей с помощью ТЛ-дозиметров. Это была последняя удачная компания по измерению индивидуальных доз у жителей загрязненных территорий методом ТЛ-дозиметрии. Позже ни одна из попыток повторить измерения индивидуальных доз у жителей не увенчалась успехом из-за их нежелания участвовать в измерениях.

#### Целями настоящей статьи являлись:

– проведение анализа долгосрочной динамики характеристик распределения эффективной дозы внешнего облучения у жителей после крупномасштабного выброса радиоактивных веществ в окружающую среду;

– сравнение средних значений эффективной дозы внешнего облучения у жителей в отдаленный период времени после аварии на ЧАЭС (через 17 лет), полученных методом измерений индивидуальных доз и на основе измерений мощностей доз в окружающей среде.

Материалы, представленные в работе, в основном основаны на результатах долговременных измерений, выполненных в селах Смяльч и Веприно Брянской области Российской Федерации.

#### Материалы и методы

В рамках международного проекта RER/9/074 радиологические обследования в НП Веприно и Смяльч Брянской области (значение поверхностной активности радионуклида  $^{137}\text{Cs}$  в почве на территории этих НП составляло  $866 \text{ kBq m}^{-2}$  и  $646 \text{ kBq m}^{-2}$  на 26.04.86 г.) были проведены специалистами Санкт-Петербургского НИИ радиационной гигиены в июле 2003 г. Измерения индивидуальных доз внешнего излучения проводились с помощью ТЛ-детекторов из фтористого лития (ДТГ-4; LiF:Mg,Ti; монокристаллы 5 мм диаметром и 1 мм толщиной). Каждый индивидуальный дозиметр с толщиной стенок из тканеэквивалентной пластмассы  $1 \text{ г см}^{-2}$  содержал два детектора. Детекторы калибровали в поле образцового источника  $^{137}\text{Cs}$  во ВНИИМ им. Д.М. Менделеева в г. Санкт-Петербурге. Основная относительная ошибка измерения не превышала  $\pm 15\%$  при доверительной вероятности 95%. Минимальная доза гамма-излучения, регистрируемая с доверительной вероятностью 95%, составляла  $20 \text{ мкГр}$ .

100 dosimeters were distributed in Veprin and 108 dosimeters – in Smyalch. 12 background dosimeters were used to monitor the background dose accumulated by the working dosimeters during the time since the distribution to the moment of their readout. The dosimeters were collected exactly in one month. 88 dosimeters were collected in Veprin (12 were lost), in Smyalch – 98 dosimeters (10 were lost).

The dose accumulated by each dosimeter during the month  $D_{ind}$  was calculated using the equation 1:

$$D_{ind} = \frac{0.5 \cdot (q_1 + q_2)}{K}, \mu\text{Gy} \quad (1)$$

where  $0.5 \cdot (q_1 + q_2)$  is the average value of readings of two detectors located in one dosimeter, nC; K is the calibration factor, nC  $\mu\text{Gy}^{-1}$ . When assessing individual doses in each settlement resident, the value of the background dose determined with the results of measurements of the 12 background dosimeters was subtracted from the value calculated with formula (1).

To assess the individual dose in residents, we used the dosimeters readings  $D_{ind}$  if they satisfied the following conditions:

for Veprin:  $50 \text{ mSv} < D_{ind} < 260 \text{ mSv}$ , (2)

for Smyalch:  $25 \text{ mSv} < D_{ind} < 180 \text{ mSv}$

The lower value of the recorded individual dose corresponded to its monthly value at permanent staying of a person indoors (at home). The upper value corresponded to its monthly value if a person stayed 75% of time on a virgin plot of soil, and 25% of time – at home. The corresponding numeric values of monthly doses were assessed on the basis of the data of measurements of dose rates indoors and above virgin soils in each of the surveyed settlement. The measured values of  $D_{ind}$  were transferred to the effective doses with the use of the transfer factor  $0.9 \text{ Sv Gy}^{-1}$  established on the basis of phantom measurements [8].

Gamma radiation dose rate was determined in typical locations within and outside the settlements. Firstly were surveyed areas of individual plots: residential building (wooden or brick house), kitchen-garden, yard, and adjacent part of the street. Besides that, in the settlement we chose and surveyed "virgin plots" which were open areas with grass cover, not ploughed after 1986. We also surveyed public buildings (the club, the shop, the health cabinet, and the post-office). Outside the settlement, we performed measurements in nearest forests and on pastures (meadows). Preliminary, we determined that these objects belong to the area of the given settlement and are used by local residents for pasturing cattle, hay harvesting, gathering mushrooms and berries, and for recreation.

Measurement of the gamma radiation dose rate was performed at the height of 1 m above the ground (1 m above the floor surface in premises) with the EL-1119 gamma dosimeter (produced by ATOMTEKH, Belarus) allowing measuring dose rates and gamma radiation dose with the energy in the range of 0.025–3 MeV at the dose rate from  $50 \text{ nGy h}^{-1}$  to  $1 \text{ Gy h}^{-1}$ . The basic relative error of the measurement is  $\pm 20\%$ . The time of measurement was chosen in each location in such a way that the relative statistical error of the average dose rate value was not greater than 10%.

To assess the contribution of the dosimeter background in its readings and the response to the space radiation, preliminarily were performed special measurements above the surface of big water objects (deep lakes) at the distance from the shore not

В НП Веприно было выдано 100 дозиметров, в НП Смяльч – 108. Для контроля фоновой дозы, накопленной рабочими дозиметрами за время, прошедшее с момента их отжига до момента их высвечивания, использовали 12 фоновых дозиметров. Сбор дозиметров производился ровно через месяц после выдачи. Всего в Веприно было собрано 88 дозиметров (12 утрачено), в Смяльче – 98 (10 утрачено).

Накопленная каждым дозиметром за месяц доза  $D_{инд}$  рассчитывалась по формуле:

$$D_{инд} = \frac{0.5 \cdot (q_1 + q_2)}{K}, \text{ мкЗв} \quad (1)$$

где:  $0.5 \cdot (q_1 + q_2)$  – среднее значение показаний двух детекторов, размещенных в одном дозиметре, нКл; K – калибровочный коэффициент, нКл  $\text{мкЗв}^{-1}$ . При оценке индивидуальных доз каждого жителя НП, обусловленной радиоактивными выпадениями, из рассчитанной по формуле (1) дозы вычиталось среднее значение фоновой дозы, определенное по результатам измерений 12 фоновых дозиметров.

Показания дозиметров  $D_{инд}$  использовали для оценки индивидуальной дозы жителей, если они удовлетворяли следующим условиям:

для НП Веприно:  $50 \text{ мкЗв} < D_{инд} < 260 \text{ мкЗв}$ , (2)

для НП Смяльч:  $25 \text{ мкЗв} < D_{инд} < 180 \text{ мкЗв}$ .

Нижнее значение дозы соответствовало ее месячному значению при постоянном пребывании человека в помещении (жилом здании). Верхнее значение соответствовало ее месячному значению при таком режиме поведения человека, когда он 75% времени находится на целинном участке почвы и 25% времени – в жилом помещении. Соответствующие численные значения месячных доз были оценены на основании данных измерений мощностей доз в помещениях и над целинными участками в каждом обследованном НП. При переходе от измеренных значений  $D_{инд}$  к значению эффективной дозы использовали коэффициент  $0.9 \text{ Зв Гр}^{-1}$ , установленный с помощью фантомных измерений [8].

Измерения мощности дозы гамма-излучения в воздухе выполнялись в типичных локациях внутри и вне НП. Во-первых, обследовали ареалы индивидуальных подворий: а) жилое здание (деревянный или каменный дом), б) огород, в) двор, д) прилегающий участок улицы. Кроме того, внутри НП выбирались и обследовались «целинные участки», представлявшие собой открытую территорию, имеющую травяное покрытие и не подвергавшуюся обработке после 1986 г. Обследованы были и общественные здания (клуб, магазин, медпункт, почта). За пределами НП измерения были выполнены в близлежащих лесах и на пастбищах (лугах). Предварительно было установлено, что эти объекты принадлежат к ареалу данного НП и используются местными жителями для выпаса скота, заготовки сена, сбора грибов, ягод и отдыха.

Измерение мощности дозы гамма-излучения проводили на высоте 1 м от поверхности земли (1 м от поверхности пола в помещениях) с помощью дозиметра гамма-излучения EL-1119 (производство фирмы «АТОМТЕХ», Беларусь). Приборы данного класса позволяют измерять мощность кермы в воздухе ( $\text{нГр час}^{-1}$ ) гамма-излучения с энергией в диапазоне 0,025–3 МэВ при значениях от  $50 \text{ нГр час}^{-1}$  до  $1 \text{ Гр час}^{-1}$ . Время измерения в каждой точке выбиралось таким образом, чтобы относительная статистическая погрешность среднего значения мощности дозы не превышала 10%.

less than 100 m. The equivalent of the own background and the response to the cosmic radiation in this type of devices is 10-20 nGy h<sup>-1</sup>. To assess the Chernobyl component of the gamma radiation dose rate, we subtracted this value and the value of the terrigenic radiation contribution (20 – 50 nGy h<sup>-1</sup> in different location of settlement in Bryansk region [7, 9]) from the value of its readings. Thus, the presented results correspond to the dose rate of the Chernobyl component of gamma radiation.

The value of the monthly external effective dose to representatives of the *i*-th population group on the basis of the measurement of dose rates in different locations of a settlement  $E_i$  was calculated using the equation 3:

$$E_i = 10^{-3} \cdot 720 \cdot K_i^E \cdot \sum_j (D_j - D_{jo}) \cdot p_{ij}, \mu\text{Sv} \quad (3)$$

where  $K_i^E$  is conversion coefficient from air dose on the height of 1 m to the effective dose (for the adult population was taken equal to 0.75 Sv Gy<sup>-1</sup> [4, 6]);

$p_{ij}$  is occupancy factor determining the proportion of time during which representatives of the *i*-th population group are in the *j*-th location of the settlement [4, 6] (see. Table 1);

$D_j$  (nGy h<sup>-1</sup>) – the measured value of the total dose rate in the air at the height of 1 m in location *j*;

$D_{jo}$  (nGy h<sup>-1</sup>) is the value of the dose rate due to the background response of the device and contributions to its readings of cosmic and terrigenic radiation in the *j*-th location.

720 is the number of hours in a month;

10<sup>-3</sup> is the transfer factor from nGy to μGy.

## Results

Results of measurements of gamma dose rates at typical locations in villages Veprin and Smyalch are summarized in Tables 2 and 3.

Considering the gamma dose rates at typical locations of the settlements and lifestyle (occupancy factors) of the inhabitants the monthly (July) average effective dose of external exposure are:

Для оценки вклада в показания дозиметра его собственного фона и отклика на космическое излучение предварительно проводились специальные измерения над поверхностью водных объектов (глубокие озера) на расстоянии от берега не менее 100 м. Эквивалент собственного фона и отклика на космическое излучение этого типа приборов составляет 10–20 нГр час<sup>-1</sup>. Для оценки черновыльского компонента мощности дозы гамма-излучения эта величина вместе с вкладом терригенного излучения (20–50 нГр час<sup>-1</sup> в Брянской области [7, 9]) вычиталась из его показаний.

Значение месячной эффективной дозы внешнего облучения у представителей *i*-й группы населения на базе результатов измерений мощностей доз в различных локациях НП  $E_i$  рассчитывалась с использованием выражения:

$$E_i = 10^{-3} \cdot 720 \cdot K_i^E \cdot \sum_j (D_j - D_{jo}) \cdot p_{ij}, \text{мкЗв} \quad (3)$$

где  $K_i^E$  – коэффициент перехода от дозы в воздухе на высоте 1 м к эффективной дозе (для взрослого населения принимался равным 0,75 Зв Гр<sup>-1</sup> [4, 6]);

$p_{ij}$  – фактор поведения, представляющий собой долю времени, в течение которого представители *i*-й группы населения находятся в *j*-й локации НП [4, 6] (табл. 1);

$D_j$  (нГр час<sup>-1</sup>) – измеренное значение суммарной мощности дозы в воздухе на высоте 1 м в локации *j*;

$D_{jo}$  (нГр час<sup>-1</sup>) – значение мощности дозы, обусловленное фоновым откликом прибора и вкладами в его показания космического и терригенного излучений в *j*-й локации.

720 – количество часов в месяце;

10<sup>-3</sup> – коэффициент перевода нГр в мкГр.

## Результаты и обсуждение

Результаты измерений мощностей доз гамма-излучения в воздухе в типичных локациях НП Веприно и Смяльч представлены в таблицах 2 и 3 соответственно.

Table 1

Occupancy factors in summer season for different rural population groups

[Таблица 1

Значения фактора поведения в летний сезон для разных групп сельского населения]

| Location<br>[Тип локации]         | Group 1<br>[Группа 1] | Group 2<br>[Группа 2] | Pensioners<br>[Пенсионеры] |
|-----------------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------|
| Living area<br>[Жилая зона]       |                       |                       |                            |
| Inside houses<br>[В помещении]    | 0.42                  | 0.42                  | 0.56                       |
| Outside houses<br>[Вне помещения] | 0.28                  | 0.20                  | 0.40                       |
| Work area<br>[Рабочая зона]       |                       |                       |                            |
| Building<br>[Здание]              | 0.23                  | 0.08                  | 0.00                       |
| Work yard<br>[Рабочий двор]       | 0.04                  | 0.07                  | 0.00                       |
| Plough field<br>[Пахота]          | 0.01                  | 0.18                  | 0.00                       |
| Virgin land<br>[Целина]           | 0.00                  | 0.03                  | 0.00                       |
| Зона отдыха                       |                       |                       |                            |
| Forest, meadow<br>[Лес, луг]      | 0.02                  | 0.02                  | 0.04                       |

Table 2

## Results of measurements of gamma dose rate at typical locations in the village Veprin in July 2003

[Таблица 2]

## Результаты измерений мощностей доз гамма-излучения в воздухе в типичных локациях НП Веприно в июле 2003 г.]

| Type of location<br>[Тип локаций]                      | Number of<br>measurements<br>[Число измерений] | Gamma dose rate, nGy h <sup>-1</sup><br>[Мощность дозы гамма-излучения, нГр ч <sup>-1</sup> ] |                         |
|--------------------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
|                                                        |                                                | Mean<br>[Среднее]                                                                             | St. dev.<br>[Ст. откл.] |
| One-story wooden house<br>[Одноэтажный деревянный дом] | 22                                             | 71                                                                                            | 15                      |
| One-story brick house<br>[Одноэтажный каменный дом]    | –                                              | –                                                                                             | –                       |
| Public buildings<br>[Общественные здания]              | 3                                              | 19                                                                                            | 8                       |
| Kitchen garden + garden<br>[Огород, сад]               | 24                                             | 353                                                                                           | 54                      |
| Work yard<br>[Рабочий двор]                            | 48                                             | 235                                                                                           | 81                      |
| Street<br>[Улица]                                      | 24                                             | 114                                                                                           | 36                      |
| Plough field<br>[Пашня]                                | 3                                              | 245                                                                                           | 52                      |
| Virgin land inside of village<br>[Целина внутри НП]    | 22                                             | 479                                                                                           | 113                     |
| Virgin land outside of village<br>[Целина вне НП]      | 30                                             | 543                                                                                           | 186                     |
| Forest<br>[Лес]                                        | 31                                             | 628                                                                                           | 82                      |

Table 3

## Results of measurements of gamma dose rate at typical locations in the village Smyalch in July 2003

[Таблица 3]

## Результаты измерений мощностей доз гамма-излучения в воздухе в типичных локациях НП Смяльч в июле 2003 г.]

| Type of location<br>[Тип локаций]                      | Number of<br>measurements<br>[Число измерений] | Gamma dose rate, nGy h <sup>-1</sup><br>[Мощность дозы гамма-излучения, нГр ч <sup>-1</sup> ] |                         |
|--------------------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
|                                                        |                                                | Mean<br>[Среднее]                                                                             | St. dev.<br>[Ст. откл.] |
| One-story wooden house<br>[Одноэтажный деревянный дом] | 26                                             | 49                                                                                            | 9                       |
| One-story brick house<br>[Одноэтажный каменный дом]    | 19                                             | 35                                                                                            | 12                      |
| Public buildings<br>[Общественные здания]              | 3                                              | 24                                                                                            | 3                       |
| Kitchen garden + garden<br>[Огород, сад]               | 41                                             | 240                                                                                           | 44                      |
| Work yard<br>[Рабочий двор]                            | 81                                             | 165                                                                                           | 30                      |
| Street<br>[Улица]                                      | 35                                             | 102                                                                                           | 28                      |
| Plough field<br>[Пашня]                                | 11                                             | 227                                                                                           | 29                      |
| Virgin land inside of village<br>[Целина внутри НП]    | 34                                             | 319                                                                                           | 61                      |
| Virgin land outside of village<br>[Целина вне НП]      | 12                                             | 382                                                                                           | 56                      |
| Forest<br>[Лес]                                        | 17                                             | 496                                                                                           | 64                      |

– 79, 98 and 110  $\mu\text{Sv mo}^{-1}$  for indoor group, outdoor group and pensioners of village Veprin living in wooden houses, respectively;

– 56, 74 and 75  $\mu\text{Sv mo}^{-1}$  for indoor group, outdoor group and pensioners of village Smyalch living in wooden houses, respectively;

– 54, 71 and 71  $\mu\text{Sv mo}^{-1}$  for indoor group, outdoor group and pensioners of village Smyalch living in brick houses, respectively.

Table 4 presents the results of the measurements of individual external doses of Veprin and Smyalch villages residents performed during the studies in July 2003.

Figure 1 presents the results of an estimate of the average monthly effective dose of external exposure at residents of Veprin and Smyalch villages performed after the Chernobyl accident during 1991–2003 based on the method of the individual dose measurements (TLD – measurements). The same figure shows the independent data of individual doses measurements in the village Veprin performed by Swedish colleagues in 1991–1998 [10], and for comparison, the results of 2003 estimates based on measurements of dose rates in air according to the relation (3).

The dynamics of the decrease in the average value of the dose due to external exposure of the inhabitants of both villages is mainly explained by the decay of the mixture of  $^{134}\text{Cs}$  +  $^{137}\text{Cs}$  radionuclides and their migration (redistribution) in the environment (anthropogenic and natural).

Taking this into account, as well as the fact that the measurements of individual doses of the inhabitants in these villages began 5 years after the fallout when the rapid migration processes either ended or had little effect on the dose of external exposure, the dependence of the average effective dose for residents  $E_{av}$  on time after the fallout  $t$  was

$$E_{av} = a_1 \cdot (1,49 \cdot \exp(-\frac{\ln 2}{2,06} \cdot t) + \exp(-\frac{\ln 2}{30} \cdot t)) \cdot \exp(-\frac{\ln 2}{50} \cdot t) \quad (4)$$

were: 2,06 y and 30 y are half-lives of  $^{134}\text{Cs}$  and  $^{137}\text{Cs}$ , correspondingly;

the coefficient 1.49 considers the difference in the contributions of gamma radiation of  $^{134}\text{Cs}$  and  $^{137}\text{Cs}$  radionuclides to the value of the effective dose in an adult and the ratio of their activities in Chernobyl fallout;

50 years is half-life of a long-term component decrease in two exponential expression approximating the dynamics of

Используя значения измеренных мощностей доз гамма-излучения в воздухе в различных локациях НП (см. табл. 2 и 3) и значения факторов поведения населения в летний период времени из таблицы 1, согласно соотношению (3), были рассчитаны значения эффективной месячной (июль) дозы у следующих групп населения:

– 79, 98 и 110 мкЗв мес<sup>-1</sup> для группы 1, группы 2 и пенсионеров села Веприно, проживающих в деревянных одноэтажных домах, соответственно;

– 56, 74 и 75 мкЗв мес<sup>-1</sup> для группы 1, группы 2 и пенсионеров села Смяльч, проживающих в деревянных одноэтажных домах, соответственно, и 54, 71 и 71 мкЗв мес<sup>-1</sup> для группы 1, группы 2 и пенсионеров того же села, проживающих в каменных одноэтажных домах, соответственно.

В таблице 4 представлены результаты обработки данных измерений индивидуальных доз внешнего облучения у жителей сел Веприно и Смяльч, выполненных в ходе исследований в июле 2003 г.

На рисунке 1 приведены результаты оценки средней месячной эффективной дозы внешнего облучения у жителей сел Веприно и Смяльч, выполненные после Чернобыльской аварии в течение 1991–2003 гг. на основе измерений индивидуальных доз (ТЛД-измерений). На этом же рисунке представлены независимые данные измерений индивидуальных доз внешнего излучения у жителей села Веприно, выполненные шведскими коллегами в 1991–1998 гг. [10], и для сравнения – результаты оценок 2003 г., выполненные на основе измерений мощностей доз в воздухе, согласно соотношению (3).

Динамика уменьшения среднего значения дозы внешнего облучения у жителей обоих сел, в основном, объясняется распадом смеси радионуклидов  $^{134}\text{Cs}$  +  $^{137}\text{Cs}$  и их миграцией (перераспределением) в окружающей среде (антропогенной и природной). Учитывая это, а также тот факт, что измерения индивидуальных доз у жителей этих сел начались через 5 лет после выпадений, когда быстрые процессы миграции либо закончились, либо уже мало влияли на дозу внешнего излучения, зависимость среднего значения эффективной дозы у жителей  $E_{av}$  от времени после выпадений  $t$  аппроксимировали следующим выражением:

$$E_{av} = a_1 \cdot (1,49 \cdot \exp(-\frac{\ln 2}{2,06} \cdot t) + \exp(-\frac{\ln 2}{30} \cdot t)) \cdot \exp(-\frac{\ln 2}{50} \cdot t) \quad (4)$$

где 2,06 года и 30 лет – периоды полураспада  $^{134}\text{Cs}$  и  $^{137}\text{Cs}$ ;

Table 4

Results of the measurements of individual external doses of Veprin and Smyalch villages residents in July 2003 (Chernobyl component)

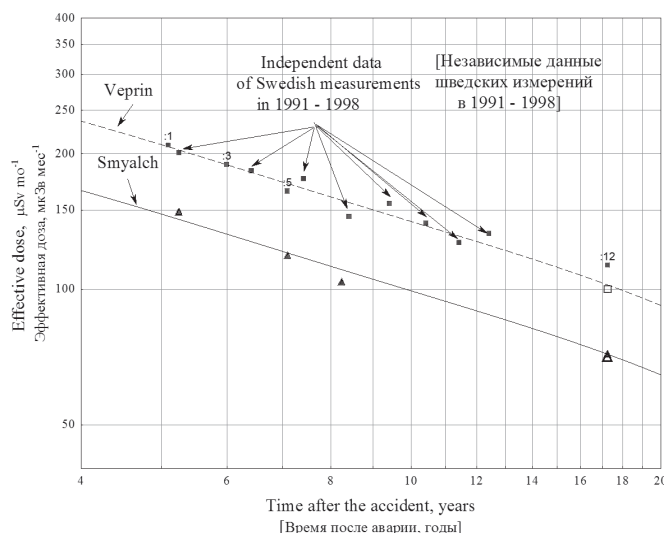
[Таблица 4

Результаты измерений индивидуальных доз внешнего облучения у жителей сел Веприно и Смяльч в июле 2003 г. (чернобыльский компонент)]

| Village [НП]     | Number of measurements [Количество измерений] | Mean, $\mu\text{Sv mo}^{-1}$ [Среднее значение, мкЗв мес <sup>-1</sup> ] | Std. dev., $\mu\text{Sv mo}^{-1}$ [Стандартное отклонение, мкЗв мес <sup>-1</sup> ] |
|------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Veprin [Веприно] | 64 (100)*                                     | 113 (51 – 244)**                                                         | 49                                                                                  |
| Smyalch [Смяльч] | 73 (108)*                                     | 72 (26 – 180)**                                                          | 36                                                                                  |

\* number of the dosimeters handed out in village are indicated in parentheses; \*\* the minimum and maximum values of the doses passed through the filtration are indicated in parentheses (see relations (2)).

[\* – в скобках указано количество выданных в НП дозиметров; \*\* – в скобках указано минимальное и максимальное значения доз, прошедших фильтрацию (см. соотношения (2)).]



**Fig. 1.** Dynamics of the monthly effective dose of external exposure at residents of Veprin and Smyalch settlements on the basis of individual dose measurements by TLD-method: black squares (1), (3), (5), (12) are the results of Russian measurements in Veprin; black triangles are the results of Russian measurements in Smyalch; white square is the result of effective dose estimate on the base of dose rate measurements in Veprin and white triangle is the result of effective dose estimate on the base of dose rate measurements in Smyalch.

**[Рис. 1.** Динамика месячной эффективной дозы внешнего облучения жителей сел Веприно и Смяльч на основании данных измерений индивидуальных доз методом ТЛД: черные квадраты – результаты российских измерений в с. Веприно; черные треугольники – результаты российских измерений в с. Смяльч; белый квадрат – результат оценки эффективной дозы на основе измерений мощностей доз в с. Веприно и белый треугольник – аналогичная оценка эффективной дозы в с. Смяльч]

gamma dose rate over virgin soil after the Chernobyl fallout due to natural migration of cesium [4];

$a_1$  – parameter estimated by the nonlinear regression method,  $a_1=192 \mu\text{Sv mo}^{-1}$  and  $a_1=135 \mu\text{Sv mo}^{-1}$  for settlements Veprin and Smyalch, correspondingly.

We note the following main features of the results presented in Fig. 1:

Dynamics of average effective dose values of residents due to external exposure during a period of 5 to 20 years after Chernobyl fallout is well described by the approximating expression (4), taking into account radioactive decay and natural migration of cesium radionuclides. Further decrease of the effective dose of external exposure will be due to the trivial law of  $^{137}\text{Cs}$  radioactive decay and its possible further penetration into the soil.

The average effective dose of residents due to external exposure in both settlements in 2003 calculated on the basis of dose rates measurements in air are in good agreement with the results of TLD measurements of individual doses (relative differences of -1% and -12% for Smyalch and Veprin, respectively).

The distribution of individual doses of residents in each settlement was approximated by a logarithmically normal law. In both villages, this possibility was statistically justified by the criterion  $\chi^2$ . These distributions are presented in Figures 2 and 3 together with the distribution of external individual doses among the inhabitants of these settlements in 1993.

Previously performed analysis of the external dose distribution among residents based on more than 5,000 measurements of individual doses in 55 settlements of Bryansk region (1987–1993) showed that when normalized the individual dose to the average dose in the settlement (standardized distribution) it can be approximated logarithmically normal law with sufficiently stable parameters [6]. Thus the average value

коэффициент 1,49 учитывает различие вкладов гамма-излучения радионуклидов  $^{134}\text{Cs}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в значение эффективной дозы у взрослого человека и соотношение их активностей в чернобыльских выпадениях;

50 лет – полупериод уменьшения длинной компоненты в двухэкспоненциальной аппроксимации динамики мощности дозы внешнего излучения над целинной почвой из-за естественной миграции цезия [4];

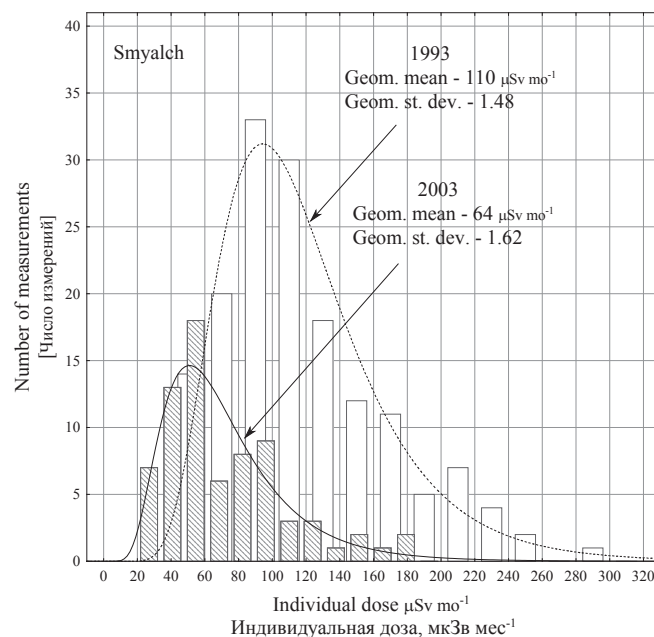
$a_1$  – параметр, оцененный методом нелинейной регрессии,  $a_1=192 \text{ мкЗв мес}^{-1}$  и  $a_1=135 \text{ мкЗв мес}^{-1}$  для НП Веприно и Смяльч соответственно.

Отметим следующие основные особенности результатов, представленных на рисунке 1.

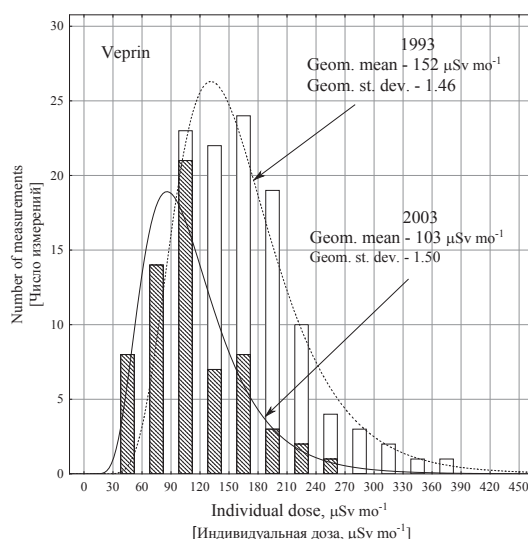
Динамика средних значений эффективной дозы внешнего излучения у жителей в период времени 5–20 лет после чернобыльских выпадений хорошо описывается аппроксимирующим выражением (4), учитывающим радиоактивный распад и естественную миграцию радионуклидов цезия. Дальнейшее уменьшение эффективной дозы внешнего излучения будет связано с тривиальным законом радиоактивного распада радионуклида  $^{137}\text{Cs}$  и возможного дальнейшего его заглубления в почву.

Значения средней эффективной дозы внешнего облучения жителей в обоих НП в 2003 г., рассчитанные на основе измерений мощностей доз в воздухе, хорошо согласуются с результатами ТЛД-измерений (относительные различия -1% и -12% для НП Смяльч и Веприно соответственно).

Распределения индивидуальных доз внешнего облучения жителей в каждом НП аппроксимировали логарифмически нормальным законом. В обоих селах такая возможность была статистически обоснована с помощью критерия  $\chi^2$ . Эти распределения представлены на рисунках 2 и 3 совместно с распределениями индивидуальных доз внешнего облучения у жителей этих НП в 1993 г.



**Fig. 2.** Distribution of individual external doses among the residents of Smyalch settlement in 1993 and 2003  
**[Рис. 2.]** Распределение индивидуальных доз внешнего облучения жителей села Смяльч в 1993 и 2003 гг.]



**Fig. 3.** Distribution of individual external doses among the residents of Veprin settlement in 1993 and 2003  
**[Рис. 3.]** Распределение индивидуальных доз внешнего облучения жителей села Веприно в 1993 и 2003 гг.]

of the geometric standard deviation of a standardized log-normal distribution in the 1987–1993 series of measurements (99 values) was  $1.51 \pm 0.15$  (std. err.).

Parameters of standardized log-normal distributions of individual doses of external exposure among residents of Veprin and Smyalch villages in 2003 were estimated. The obtained results are presented in Table 5 which also gives similar values for the so-called “reference” log-normal distribution for individual doses of external exposure established in the 1987–1993 series of measurements. From a comparison of the presented data it can be seen that the parameters of the standardized log-normal distribution have practically not changed in the past 10 years.

Ранее проведенный анализ распределения дозы внешнего облучения у жителей на основе более чем 5 тысяч измерений индивидуальных доз в 55 НП Брянской области (1987–1993 гг.) показал, что при нормировании доз на среднее значение дозы в НП (стандартизованное распределение) его можно аппроксимировать логарифмически нормальным законом с достаточно устойчивыми параметрами [6]. Так, среднее значение геометрического стандартного отклонения стандартизованного логарифмически нормального распределения в серии измерений 1987–1993 гг. (99 значений) составило  $1,51 \pm 0,15$  (ст. ошибка среднего).

Были оценены параметры стандартизованных логарифмически нормальных распределений индивиду-

**Parameters of standardized (normalized on the mean dose in the village) log-normal distributions of individual doses among inhabitants of villages Smyalch and Veprin**

Table 5

[Таблица 5]

**Параметры стандартизованного (нормированного на среднюю дозу в НП) логарифмически нормального распределения индивидуальных доз среди жителей сел Веприно и Смяльч]**

|                                                                      | Parameters of standardized log-normal distributions<br>[Параметры стандартизованного логарифмически нормального распределения] |                                                          |
|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
|                                                                      | Geometric mean<br>[Геометрическое среднее]                                                                                     | Geometric st. dev.<br>[Геометрическое стандартное откл.] |
| Reference distribution<br>[Референтное распределение]<br>(1987–1993) | 0.90                                                                                                                           | 1.51                                                     |
| Veprin<br>(July 2003)<br>[Июль 2003 г.]                              | 0.92                                                                                                                           | 1.50                                                     |
| Smyalch<br>(July 2003)<br>[Июль 2003 г.]                             | 0.89                                                                                                                           | 1.62                                                     |

This allows estimating the dose in the critical population group defined as the average dose in 10% of the settlement residents who have the highest individual doses compared to the rest of the residents, based on the value of the average population dose in the settlement [11]. According to the parameters of the log-normal distribution presented above, almost the entire (99.9%) range of the “individual dose/average dose in settlement” ratio ( $K_D^{ind}$ ) is limited by a factor of 3.2. The average value of  $K_D^{ind}$  for a group of residents with the  $K_D^{ind}$  value higher than the value of 90% quantile for the individual dose distribution is 1.85. If the proposed ICRP concept of a representative person is used [12] then it is necessary to use 95% quantile of the individual dose distribution for the limitation of the population exposure. For the exposure situation considered here it corresponds to the  $K_D^{ind}$  value equal to 1.75, which is only slightly different from the value estimated above (1.85) according to the approach adopted in Russia [11].

### Conclusion

An analysis of the dynamics of individual doses of external exposure among the population living for almost 20 years in the territories affected to radioactive contamination as a result of the Chernobyl accident showed the following:

Dynamics of average effective dose of the external exposure of inhabitants during a period of 5 to 20 years after Chernobyl fallout is well described by processes that take into account radioactive decay of  $^{134}\text{Cs}$  +  $^{137}\text{Cs}$  radionuclides and their natural migration with long component of half-life equal of a 50-years.

The distribution of individual doses of external exposure among residents, normalized to the average dose in the settlement corresponds to a logarithmically normal law with time-stable parameters (geometric mean and geometric standard deviation), which allows, in particular, to predict the dose of the critical group of population or for a representative person according to the new concept of ICRP [11].

Comparison of the mean effective dose of external exposure at settlement residents estimated on the basis of the results of two different measurement technologies (using TLD-method and measurements of dose rates in air in various settlement locations) showed their good agreement 17 years after the fallout. In two settlements, where measurements were made in 2003, the relative differences in mean effective doses did not

альных доз внешнего облучения жителей сел Веприно и Смяльч в 2003 г. Полученные результаты представлены в таблице 5, где также приведены аналогичные значения для так называемого “референтного” логарифмически нормального закона распределения индивидуальных доз внешнего облучения, установленные в серии измерений 1987–1993 гг. Из сравнения приведенных данных видно, что параметры стандартизованного логарифмически нормального распределения практически не изменились за прошедшие 10 лет. Это позволяет, зная значение средней дозы в НП, оценить дозу в критической группе населения, определяемую как средняя доза у 10% жителей НП, имеющих наибольшие по сравнению с остальными жителями индивидуальные дозы облучения [11]. При указанных выше параметрах логарифмически нормального распределения, практически весь (99,9%) диапазон значений отношения Индивидуальная доза/Средняя доза в НП” ( $K_D^{ind}$ ) ограничен сверху значением 3,2. При этом среднее значение  $K_D^{ind}$  для группы жителей, у которой  $K_D^{ind}$  превышает 90% квантиль в распределении индивидуальной дозы, равно 1,85. Если же использовать предложенную МКРЗ концепцию репрезентативного индивидуума [12], то для ограничения облучения населения необходимо использовать 95% квантиль в распределении индивидуальной дозы. В рассматриваемой нами ситуации внешнего облучения ему соответствует значение  $K_D^{ind}$ , равное 1,75, что незначительно отличается от значения  $K_D^{ind}$ , оцененного выше согласно подходу, принятому в России [11].

### Заклучение

Анализ динамики индивидуальных доз внешнего облучения населения, проживающего в течение почти 20 лет на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате Чернобыльской аварии, показал следующее:

1. Динамика средних значений эффективной дозы внешнего облучения жителей НП в период времени 5–20 лет после чернобыльских выпадений хорошо описывается процессами, учитывающими радиоактивный распад и естественную миграцию радионуклидов цезия с полупериодом уменьшения длинной компоненты 50 лет.

exceed 12%. This allows in the future use the model of external exposure [12] to estimate the doses to the population living on the territories contaminated after the Chernobyl accident.

2. Распределение индивидуальных доз внешнего облучения жителей НП, нормированных на среднее значение дозы в НП, соответствует логарифмически нормальному закону с устойчивыми во времени параметрами (геометрическим средним значением и геометрическим стандартным отклонением), что позволяет, в частности, прогнозировать значение дозы в критической группе населения или для репрезентативного индивидуума (the representative person), согласно концепции МКРЗ [12].

3. Сравнение значений средних эффективных доз внешнего облучения у жителей НП, оцененных на основании результатов двух различных методов измерений (измерений индивидуальных доз с использованием ТЛ-дозиметров и измерений мощностей доз в воздухе в различных локациях НП), показало их хорошую сходимость через 17 лет после аварии. В двух НП, где проводились измерения в 2003 г., относительные различия значений средних эффективных доз, полученных этими методами, не превышали 12%. Это позволяет и в дальнейшем для оценки доз внешнего облучения населения, проживающего на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате Чернобыльской аварии, использовать методику, основанную на существующей модели внешнего облучения [13] совместно с результатами измерений мощностей доз в НП.

## References (Литература)

1. Erkin, V.G., Lebedev, O.V. Thermoluminescent dosimeter measurements of external doses to the population of the Bryansk region after the Chernobyl accident. In: Balonov M.I. and Merwin S.E., eds. The Chernobyl Papers. Vol. 1. Research Enterprises; Publishing Segment. Richland; Washington: 1993: p. 289-311.
2. Golikov, V.Yu.; Balonov, M.I.; Ponomarev, A.V. Estimation of external gamma-radiation doses to the population after the Chernobyl accident. In: Balonov M.I. and Merwin S.E., eds. The Chernobyl Papers. Vol.1. Research Enterprises; Publishing Segment; Richland; Washington; 1993: p. 247-288.
3. Skryabin, A.M.; Masyakin, V.B.; Osypenko, A.N.; Vlasova, N.C.; Savkin, M.N.; Grinev, M.; Lebedev, A.; Androsova, A.; Konstantinov, Y.O.; Erkin, V.G.; Korelina, N.F.; Moskalev, O.S.; Robinson, C.A.; Prosser, S.L.; Jones, K.A.; Morrey, M. Distribution of doses received in rural areas affected by the Chernobyl accident. NRPB-R277; Chilton; Didcot; Oxon OX11 0RQ; 1995.
4. Jacob, P.; Prohl, G.; Likhtarev, I.; Kovgan, L.; Gluvchinsky, R.; Perevoznikov, O.; Balonov, M.I.; Golikov, V.; Ponomarev, A.; Erkin, V.; Vlasov, A.; Shutov, V.N.; Bruk, G.I.; Travnikova, I.G.; Kenigsberg, Y.E.; Buglova, E.E.; Shevchuk, V.E.; Morrey, M.; Prosser, S.L.; Jones, K.A.; Colgan, P.A.; Guardans, R.; Suacez, A.; Renaud, Ph.; Maubert, H.; Skryabin, A.M.; Vlasova, N.; Linge, I.; Epifanov, V.; Osipyants, I.; Skorobogotov, A. Pathway analysis and dose distributions. European Commission, Brussels: EUR 16541 EN: 1-130; 1996.
5. Likhtarev, I.; Kovgan, L.; Novak, D.; Vavilov, S.; Jacob, P.; Paretzke, H.G. (1996) Effective dose due to Chernobyl external irradiation for different population groups of Ukraine. Health Phys. 70: p. 87-98.
6. Golikov V.Yu., Balonov M.I., Jacob P. (2002) External Exposure of the Population Living in Areas of Russia Contaminated due to the Chernobyl Accident. Radiat. Environ. Biophysics, 41, Nr. 10, p. 185-193.
7. Golikov V., Balonov M., Erkin V., Jacob P. (1999) Model validation for external doses due to environmental contamination by the Chernobyl accident. Health Physics, v. 77, Nr. 6, p. 654-661.
8. Golikov V., Wallström, E., Wöhni, T., Tanaka, K., Endo, S. and Hoshi, M. (2007) Evaluation of conversion coefficients from measurable to risk quantities for external exposure over contaminated soil by use of physical human phantoms. Radiation Environ. Biophysics, 46, Nr. 4, p. 375-382.
9. Roed, J., Lange, C., Andersson, K.G., Prip, H., Olsen, S., Ramzaev, V.P., Ponomarev, A.V., Barkovsky, A.N., Mishin, A.S., Vorobiev, B.F., Chesnokov, A.V., Potapov, V.N., Shcherbak, S.B. Decontamination in a Russian settlement. Roskilde, Denmark: Rise National Laboratory; Risø-R-870 (EN); 1996.
10. IRPA-10 – 10<sup>th</sup> International Congress of the International Radiation Protection Association. Wallström, E., Thornberg, C., Vesanen, R., Zvonova, I., Jesko, T., Erkin, V., Wöhni, T., Cederblad, A., Mattsson, S., Alpsten, M., Golikov, V., Balonov, M. Assessments of effective dose to population groups in Sweden and Russia after the Chernobyl accident. P-11-258. In Proceedings of International Conference, May 14-19 2000, Hiroshima, Japan.
11. Methodological guidelines. MG 2.6.1.2003-05. Estimation of the mean annual effective doses of critical population group in settlements of Russian Federation affected by radioactive contamination due to Chernobyl NPP accident. Moscow, Rospotrebnadzor, 2005, 19 p. (In Russian). [Методические указания МУ 2.6.1.2003-05. Оценка средних годовых эффективных доз облучения критических групп жителей населенных пунктов Российской Федерации, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС. – М.: Роспотребнадзор, 2005. – 19 с.]
12. ICRP, 2008. Recommendation of the ICRP: ICRP Publication 103. Annals of the ICRP. 2008. V. 37, No. 2-4.
13. Methodological guidelines. MG 2.6.1.579-96. The reconstruction of population average accumulated in 1986 – 1995 effective exposure dose in radioactively contaminated Russian settlements after 1986 Chernobyl NPP accident. Moscow, Minzdrav of Russia, 1996, 33 p. (In Russian). [Методические указания МУ 2.6.1.579-96. Реконструкция средней накопленной в 1986-1995 гг. эффективной дозы облучения жителей населенных пунктов Российской Федерации, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 году. – М.: Минздрав России, 1996. – 33 с.]

Received: October 09, 2018

Поступила: 09.10.2018 г.

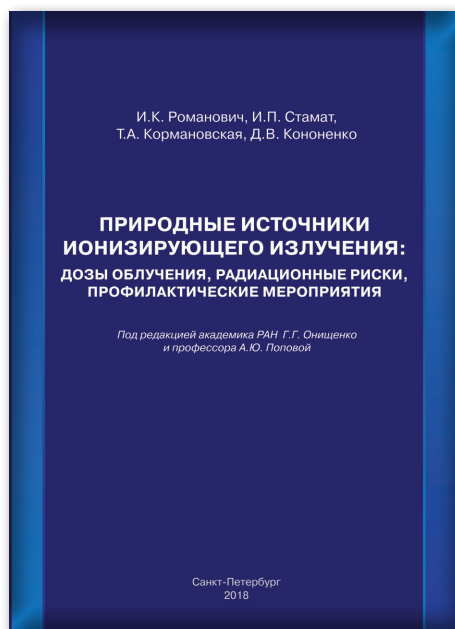
**Vladislav Yu. Golikov** – Senior Researcher of the Medical Protection Laboratory, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being. **Address for correspondence:** Mira Str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia. E-mail: sg235@rambler.ru

**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

**For citation (Для цитирования):** Golikov V.Yu. Analysis of the long-term dynamics of external doses of the population after the Chernobyl accident. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*, 2018, Vol. 11, No. 4, pp. 39-50. DOI: 10.21514/1998-426x-2018-11-4-39-50

## МОНОГРАФИЯ

**Природные источники ионизирующего излучения: дозы облучения, радиационные риски, профилактические мероприятия**  
под редакцией академика РАН Г.Г. Онищенко и профессора А.Ю. Поповой



В 2018 г. под эгидой Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены им. профессора П.В. Рамзаева, Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека и Российской Академии наук, под редакцией академика РАН Г.Г. Онищенко и профессора А.Ю. Поповой опубликована монография «Природные источники ионизирующего излучения: дозы облучения, радиационные риски, профилактические мероприятия», посвященная памяти одного из авторов, – ведущего специалиста в области природного облучения, доктора биологических наук Ивана Павловича Стамата (1950–2017). В монографии, наряду с общими сведениями о природных источниках ионизирующего излучения, авторы И.К. Романович, И.П. Стамат, Т.А. Кормановская, Д.В. Кононенко и др. дают характеристику системы нормативно-правового регулирования в Российской Федерации, представля-

ют данные о дозах природного облучения населения как в целом по стране, так и отдельно по каждому субъекту РФ. В монографии описаны подходы и оценены риски для населения при облучении природными источниками, предложены рекомендации по снижению доз облучения населения. Дозы облучения населения Российской Федерации от природных источников излучения значительно превышают дозы облучения от техногенных источников и от применения источников ионизирующего излучения и радиоактивных веществ в медицине, поэтому изучение путей облучения, мер профилактики и снижения доз природного облучения является крайне важной задачей. Авторы надеются, что материалы, представленные в данной монографии, будут полезны специалистам, работающим в области радиационной гигиены и радиационной безопасности, и внесут свой вклад в снижение дозовой нагрузки на население Российской Федерации.

## Изучение послойных изменений хрусталика в процессе формирования катаракты у лиц, подвергшихся облучению в результате радиационных инцидентов на Южном Урале

Л.Д. Микрюкова, Л.Ю. Крестинина, С.Б. Епифанова

Уральский научно-практический центр радиационной медицины ФМБА России, Челябинск, Россия

*До настоящего времени нет четкого понимания о величинах риска для здоровья и характере дозовой зависимости для населения, получившего хроническое облучение в пределах малых и средних уровней доз (до 1 Гр). В связи с этим исследования в когортах достаточной численности и длительного периода наблюдения могут сыграть важную роль в предоставлении необходимой информации. Цель: изучить особенности помутнений хрусталика у облученных лиц в отдаленные сроки после хронического радиационного воздействия с учетом влияния дозы облучения и нерадикационных факторов. В исследование были взяты пациенты из регистра облученных УНПЦ РМ, осмотренные офтальмологом в 2016–2018 гг. (всего 1377 человек). Ко всем обследованным применялась единая методика осмотра с фотофиксацией помутнений хрусталика. Исследование проводилось методом «случай — контроль». В рамках данной работы впервые были использованы индивидуализированные дозы облучения на хрусталик, рассчитанные по усовершенствованной версии дозиметрической системы TRDS-2016. В результате проведенного исследования в популяции облученных лиц, подвергшихся многолетнему воздействию ионизирующей радиации в малых дозах, установлено влияние дозы облучения на увеличение риска появления помутнений в задней капсуле и ядре хрусталика. Не получено достоверной статистической зависимости изменений хрусталика с увеличением дозы облучения в передней капсуле и корковых слоях, а также в изменении цвета ядра хрусталика. Также не доказано влияние принадлежности к разным национальным группам на приоритетное развитие помутнений в каких-либо слоях хрусталика.*

**Ключевые слова:** ионизирующая радиация, случай — контроль, глаз, хрусталик, катаракта, малые дозы облучения.

### Введение

В мировой литературе очень мало сведений о последствиях длительного комбинированного (внешнего и внутреннего) воздействия ИИ на развитие офтальмопатологии у населения в различные сроки жизни. В этой связи представляют интерес результаты наблюдений, которые позволяют оценить состояние органа зрения у населения, подвергшегося хроническому облучению.

Создание на Южном Урале в 1940-х гг. ПО «Маяк», первого предприятия по производству оружейного плутония, привело к загрязнению радиоактивными отходами реки Теча (1950–1956 гг.) и тепловому взрыву хранилища жидких радиоактивных отходов (29.09.1957 г.). В результате население прибрежных сёл реки Теча и население, проживавшее на территории образовавшегося Восточно-Уральского радиоактивного следа (ВУРС), подверглось продолжительному воздействию малых и средних доз облучения (менее 1 Гр) [1–2].

Катаракта является ведущей причиной слепоты во всем мире [3–4]. Изучение факторов, влияющих на развитие катаракты, является важной медицинской, социальной и

экономической проблемой. При созревании катаракты прозрачность хрусталика может нарушиться в любом отделе. Скорость созревания катаракты определенным образом зависит от типа катаракты, хотя в целом этот процесс изменчивый и малопредсказуемый. По клинко-анатомической характеристике различают 3 основных типа катаракты: кортикальная, ядерная и задняя субкапсулярная. С возрастом увеличивается толщина и масса волокон хрусталика. Продолжающийся в течение жизни синтез хрусталиковых волокон в зрелом возрасте приводит к уплотнению ядра хрусталика и формированию склероза ядра хрусталика. В дальнейшем протеины ядра хрусталика под воздействием химических веществ склеиваются, изменяется их прозрачность, появляется их желтое окрашивание, с течением времени переходящее иногда в бурое. Изменяется рефракционная сила хрусталика. Склероз ядра и пожелтение ядра хрусталика считаются естественным процессом старения организма. По исследованиям, проведенным ранее в когорте реки Теча, также было установлено, что катаракта у лиц, подвергшихся хроническому радиационному воздействию в малых дозах, увеличивается с достигнутым возрастом [5].

**Микрюкова Людмила Дмитриевна**

Уральский научно-практический центр радиационной медицины ФМБА России

**Адрес для переписки:** 454076, г. Челябинск, ул. Воровского д. 68а. E-mail: mikludm@mail.ru

Наибольшее количество случаев катаракты зарегистрировано у лиц в возрасте старше 60 лет. Традиционно считается, что воздействие ионизирующей радиации в дозе более 1 Гр вызывает изменения в первую очередь в задней капсуле хрусталика [6–9]. Существует ряд научных работ, позволяющих предположить, что корковые катаракты также могут быть связаны с воздействием ионизирующего излучения, в то же время существует мало доказательств того, что ядерные катаракты являются радиогенными: данные японских исследователей о переживших атомную бомбардировку [10,11], исследования последствий Чернобыльской аварии [12], у американских астронавтов [13], а также различные другие исследования [14,15].

Реакция человека на длительное воздействие ионизирующего излучения является актуальной проблемой радиационной биологии и радиационной медицины. До сих пор остается спорным вопрос о пороговой дозе, хотя радиационная катаракта традиционно считается нестохастическим радиационным эффектом.

**Цель исследования** – изучить особенности помутнений хрусталика у облученных лиц в отдаленные сроки после хронического радиационного воздействия с учетом влияния дозы облучения и нерадиационных факторов.

## Материалы и методы

### 1. Изучаемая популяция

Жители населенных пунктов на Южном Урале подверглись хроническому воздействию внешнего и внутреннего облучения в диапазоне «малых» и «средних» доз в результате двух радиационных аварий. В период 1949–1956 гг. в результате деятельности ПО «Маяк» радиоактивные материалы сбрасывались в реку Теча, вследствие чего 30 тыс. жителей прибрежных сел подверглись длительному хроническому комбинированному (внешнему и внутреннему) радиационному воздействию. Лица, родившиеся до 1950 г., которые проживали на реке Теча в период 1950–1960 гг., были включены в когорту реки Теча. В результате взрыва в хранилище жидких радиоактивных отходов ПО «Маяк» на Южном Урале сформировался Восточно-Уральский радиоактивный след (ВУРС) и также произошло облучение населения. В сформированную когорту ВУРС, численностью около 22, 5 тысяч человек были включены лица, родившиеся до аварии. Регистр облученного населения УНПЦ РМ начал формироваться в 1967 г. и содержит персонализированную информацию о лицах, облученных на Южном Урале, и их потомках.

### 2. Методы исследования

В исследование были взяты пациенты клинического отделения УНПЦ РМ, осмотренные офтальмологом в 2016–2018 гг. Все они состояли в регистре облученных УНПЦ РМ и находились на стационарном лечении с различной соматической патологией. Ко всем обследованным применялась единая методика обследования.

В специализированном оборудованном кабинете обследования проводились только одним врачом-офтальмологом, не имеющим сведений о дозе облучения у пациента. Для фиксации изменений в хрусталике был разработан стандартизованный бланк осмотра. При проведении осмотра у всех пациентов брали информированное согласие на проведение медицинских процедур.

Обследование включало следующие методы:

- автокераторефрактометрию;
- проверку остроты зрения (с использованием фороптера и проектора знаков, по данным авторефрактометрии);
- измерение глазного давления на бесконтактном автоматическом тонометре или тонометром Маклакова (всем больным старше 40 лет или по показаниям);
- осмотр переднего отрезка и глубоких сред глаза;
- по показаниям исследование полей зрения (компьютерная периметрия);
- при необходимости подбор очков.

При наличии изменений в хрусталике проводилось фотografiрование хрусталика в прямом и боковом срезе (по возможности) с использованием щелевой лампы (L-0189 Inami, Япония) с делителем луча и фотоприставки к ней. Осмотр проводится с использованием медикаментозного мидриаза – расширение зрачка после однократного закапывания 0,5% раствора мидриадила. Если в анамнезе у больного был выставлен диагноз «глаукома» или в ходе предварительного осмотра было выявлено повышение внутриглазного давления, детальное обследование хрусталика в условиях мидриаза не проводилось. Качественные фотографии получаются при максимальном мидриазе (из практики – минимально возможная ширина зрачка примерно 6–8 мм). Только при максимальном мидриазе видны часто начальные изменения, особенно в корковых слоях, которые наиболее часто начинаются на периферии.

В мировой практике достаточно часто для фиксации изменений хрусталика различной этиологии применяется Система классификации помутнения хрусталика (LOCS – Lens Opacity Classification System), 3-я версия [16], позволяющая фиксировать изменения хрусталика в различных слоях, включая изменения в задней капсуле хрусталика. Используется субъективный, но достаточно простой способ сравнения помутнения хрусталика с набором стандартных фотографий, иллюстрирующих различные степени помутнения хрусталика. Также градируется по степеням окраска хрусталика. При наличии фотоприставки к щелевой лампе возможна фотофиксация помутнений хрусталика. В нашем случае система классификации упрощена и приспособлена для практического приема врача: например, уменьшено количество градаций желтого оттенка хрусталика до 3 степеней и уменьшено количество помутнений в задней капсуле хрусталика также до 3 степеней. Дополнительно к этой системе отмечается цветная переливчатость в задней капсуле хрусталика (это отмечается отдельно (при ее наличии)), а также фиксируются как дополнительный параметр самые ранние изменения хрусталика в виде немногочисленных отдельных точечных помутнений.

Для фиксации результатов исследования и анализа изучаемых изменений хрусталика была создана база данных, содержащая файлы с 18 изучаемыми параметрами хрусталика, заболеваниями пациента (зашифрованными с использованием МКБ-9) и фотоархив (всего 5361 осмотр у 1147 человек: 336 мужчин и 811 женщин). Все идентифицированные случаи катаракты были классифицированы по типам помутнения хрусталика, и эти изменения соотнесены с уникальным системным номером пациента из Базы данных УРНПЦ РМ.

В таблице 1 представлены демографические характеристики пациентов, обследованных за 2016–2018 гг., по возрасту, полу, национальности и области проживания.

Таблица 1  
Распределение пациентов, обследованных за отчетный период, по возрасту, полу, национальности и области проживания

[Table 1]

Distribution of patients examined during the reporting period by age, sex, nationality and area residence

| Параметры<br>[Parameter]                                                                              | Все обследованные<br>офтальмологом в клинике<br>[Patient cohort, examined by the<br>ophthalmologist in the clinic] |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|                                                                                                       | n                                                                                                                  | %   |
| Возраст на момент осмотра<br>[Age at the time of examination]                                         |                                                                                                                    |     |
| 40                                                                                                    | 34                                                                                                                 | 5   |
| 40-49                                                                                                 | 56                                                                                                                 | 8   |
| 50-59                                                                                                 | 186                                                                                                                | 26  |
| 60-69                                                                                                 | 289                                                                                                                | 40  |
| 70-79                                                                                                 | 126                                                                                                                | 18  |
| ≥80                                                                                                   | 24                                                                                                                 | 3   |
| Всего<br>[Total]                                                                                      | 715                                                                                                                | 100 |
| Пол<br>[Gender]                                                                                       |                                                                                                                    |     |
| Мужчин<br>[Male]                                                                                      | 205                                                                                                                | 29  |
| Женщин<br>[Female]                                                                                    | 510                                                                                                                | 71  |
| Национальность<br>[Nationality]                                                                       |                                                                                                                    |     |
| Татары и<br>башкиры<br>[Tatars and<br>bashkirs]                                                       | 256                                                                                                                | 36  |
| Славяне<br>[Slavic]                                                                                   | 459                                                                                                                | 64  |
| Область проживания на момент даты статуса<br>[Place of residence on the last known date]              |                                                                                                                    |     |
| Челябинская<br>[Chelyabinsk<br>region]                                                                | 276                                                                                                                | 39  |
| Курганская<br>[Kurgan<br>region]                                                                      | 259                                                                                                                | 36  |
| Свердловская<br>[Sverdlovsk<br>region]                                                                | 148                                                                                                                | 21  |
| Дальние<br>мигранты вне<br>3 регионов<br>[Migrants from<br>outside the<br>indicated three<br>regions] | 32                                                                                                                 | 4   |

Всего офтальмологом было осмотрено 1377 человек из числа облученных лиц, входящих в базу данных (БД) Уральского научно-практического Центра радиационной медицины.

Самую большую по возрасту группу составляют пациенты старше 50 лет. Возраст самого младшего пациента на момент осмотра составил 18 лет, самому старшему было 92 года.

В стационаре за наблюдаемый период чаще обследовались женщины – 71% от всех обследованных.

При распределении по национальности 44% от всех обследованных составили татары и башкиры, 66% – славяне.

Основная часть осммотренных офтальмологом проживает в Челябинской области (50%). Группа «дальних» мигрантов состояла из 39 человек (3% от всех обследованных).

Среди всех осммотренных за период с января 2016 по апрель 2018 г. в файл для анализа заболеваемости катарактой включались пациенты с самым ранним по дате осмотром.

Критерии исключения из анализа:

- если при первом осмотре хотя бы на одном глазу уже была диагностирована оперированная катаракта
- лица, болеющие глаукомой, а также другие пациенты, которые не были осммотрены по отработанной методике (по разным причинам не расширяли зрачок)
- исключены пациенты, имеющие диабет.

Всего количество исключенных из исследования составило 230 человек.

### 3. Дозы на хрусталик

Для расчета индивидуальных доз у людей, проживавших на территориях, загрязненных радионуклидами в середине прошлого века в результате деятельности ПО «Маяк», использовалась дозиметрическая система TRDS [17–19]. В рамках проводимого исследования впервые в когорте облученных на Южном Урале были использованы индивидуальные дозы облучения хрусталика, рассчитанные по усовершенствованной версии дозиметрической системы TRDS-2016 [18].

Облучение населения в Уральском регионе было пролонгированным и зависело от времени и места проживания на загрязненной территории. Для конкретного жителя реки Теча уровни внешнего и внутреннего облучения зависели от множества факторов, таких как расстояние пункта проживания от места сбросов радиоактивных отходов, удаленность дома от береговой полосы, источники питьевой воды (река и/или колодец), потребление продуктов с загрязненной поймы. При расчетах доз учитывалась вся история проживания человека на загрязненной радионуклидами территории, а также его возраст и пол, которые влияли на режимы поведения, уровни потребления воды и пищевых продуктов, распределение радионуклидов по органам и тканям.

В работе [17] было показано, что радиационное воздействие на большинство мягких тканей для жителей реки Теча главным образом определялось внешним излучением от загрязненных пойменных земель и излучением цезия-137, поступавшего в организм с речной водой и молоком. Повышенным уровням облучения подвергались костный мозг и клетки на костных поверхностях за счет бета-излучения остеотропных изотопов стронция, инкорпорированных в минеральном объеме скелета. Распределение поглощенной дозы по внескелетным тканям было близко к равномерному, поэтому для расчета доз на хрусталик использовались значения дозовых коэффициентов, принятые для головного мозга.

Надежность оценок доз на мягкие ткани, полученных по системе TRDS, была подтверждена путем их сопоставления с результатами независимых дозиметрических исследований методами электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) и флуоресцентной *in situ* гибридизации (FISH) [20].

В таблице 2 представлено распределение пациентов по дозовым группам.

Самая многочисленная дозовая группа (от 0 до 5 мГр) состоит из 793 человека (57% от всех обследованных).

Вторая по численности группа от 5 мГр до 20 мГр состоит из 314 человек (23% от всех обследованных). Самая большая по дозе группа ( $\geq 100$  мГр) включает 67 облученных пациентов. Максимальная доза облучения на хрусталик составила 600 мГр.

#### 4. Статистические методы

В основе статистических методов исследования использовался метод «случай – контроль», в котором две исследуемые группы, различающиеся по полученному результату, сравниваются на основе предполагаемого влияющего фактора [21].

В качестве «случая» в проводимом исследовании рассматривался пациент с диагнозом «катаракта» с определенным типом помутнения в хрусталике. Диагноз «катаракта» был поставлен офтальмологом при обследовании в 2016–2018 гг., закодирован с использованием МКБ-9.

В качестве «контроля» рассматривался пациент, не имеющий такого же типа помутнения хрусталика или совсем без диагноза «катаракта» из числа пациентов клинического отделения УНПЦ РМ, обследованных в рамках этой же программы. Группы контроля подбирались в соответствии с полом и возрастом. К каждому случаю контроль был выбран случайным образом среди обследованных пациентов клиники УНПЦ РМ.

Отбор проходил по стандартной двухэтапной процедуре:

- 1) идентификация всех возможных контролей для каждого случая;
- 2) случайный отбор элементов из этого подмножества. Были применены следующие критерии соответствия:
  - соответствие пола для случая и контроля.
  - соответствие возраста на дату постановки диагноза (возрастные группы – младше 40 лет, от 40 до 50 лет, от 50 до 60 лет, от 60 до 70 лет, от 70 до 80 лет, старше 80 лет).

Т.к. в некоторых категориях число «случаев» превышало число возможных «контролей», для более достоверного проведения расчетов в исследовании создавались по 2 пары случайных выборок групп.

В качестве влияющих факторов в данном исследовании мы рассматривали дозу облучения хрусталика и национальность (2 группы 1) татары и башкиры; 2) славяне)).

Поскольку в исследовании случай – контроль невозможно оценить коэффициенты заболеваемости как в когортном исследовании, т.к. группы сравнения формируются исследователем, то оценка влияния фактора производится путем сравнения частот воздействия в основной и контрольной группах. Показатель «Отношение шансов» (ОШ) [21] вычисляется как шанс наличия воздействия в основной группе, деленный на шанс наличия воздействия в контрольной группе по формуле:

$$\text{ОШ} = \frac{[A/(A+C)]/C/[A/(A+C)]}{[B/(B+D)]/D/[B/(B+D)]} = \frac{AD}{BC},$$

где А – количество человек в основной группе, при воздействии фактора;

В – количество человек в контрольной группе, при воздействии фактора;

С – количество человек в основной группе, без воздействия фактора;

Д – количество человек в контрольной группе, без воздействия фактора.

Понятие «Отношение шансов» в исследовании случай – контроль соответствует понятию «Относительный риск» (ОР) в когортных исследованиях, которое указывает, во сколько раз заболевание в основной группе встречается чаще (если ОШ или ОР  $> 1$ ) или реже (если ОШ или ОР  $< 1$ ), чем в контрольной группе. При расчете ОШ применяются некоторые допущения, которые не приводят к сильным различиям с ОР, если частота исследуемой заболеваемости невысокая. Доверительный интервал возможного изменения риска развития изменений в хрусталике рассчитывался с 95% вероятностью [21].

## Результаты и обсуждение

### Передняя капсула хрусталика

Общая группа по данному виду помутнения хрусталика, в которую включены все «случаи» и подобранные по описанным выше правилам «контроли», состоит из 310 человек. В таблице 3 показано распределение случаев – контролей по нерадиационным факторам (передняя капсула).

По результатам исследования не получено доказательств влияния национальности на развитие помутнений в передней капсуле хрусталика (ОШ=0,77(95 % ДИ: 0,49–1,20)) ( $p>0,05$ ).

Таблица 2

[Table 2]

### Дозы облучения на хрусталик

#### Absorbed dose in the eye lens]

| Доза облучения на хрусталик (мГр)<br>[Absorbed dose in the eye lens (mGy)] | Число пациентов<br>[Number of patients] | %     |
|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-------|
| <5                                                                         | 793                                     | 57,5% |
| 5-20                                                                       | 314                                     | 22,8% |
| 20-50                                                                      | 108                                     | 7,9%  |
| 50-100                                                                     | 95                                      | 6,9%  |
| $\geq 100$ мГр                                                             | 67                                      | 4,9%  |

Распределение случаев – контролей по нерадиационным факторам (передняя капсула хрусталика)

Таблица 3

[Table 3]

Distribution of case-controls on non-radiation factors (anterior capsule of the eye lens)

| Показатель<br>[Indicator]                                                   | Контроль (нет помутнения в передней капсуле), n=155<br>[Control<br>No opacification of the anterior capsule n = 155] | Случай (помутнение в передней капсуле), n=155<br>[Case<br>Opacification of the anterior capsule n = 155] |
|-----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Мужчины<br>[Male]                                                           | 52                                                                                                                   | 52                                                                                                       |
| Женщины<br>[Female]                                                         | 103                                                                                                                  | 103                                                                                                      |
| Средний возраст на момент диагноза<br>[Mean age at the time of diagnosis]   | 67                                                                                                                   | 68                                                                                                       |
| Возрастной диапазон<br>[Age range]                                          | 46–86                                                                                                                | 44–86                                                                                                    |
| Средняя доза на хрусталик, мГр<br>[Mean absorbed dose in the eye lens, mGy] | 40±(8)                                                                                                               | 30 ±(6)                                                                                                  |
| Диапазон доз, мГр<br>[Absorbed dose range, mGy]                             | 0–600                                                                                                                | 0–540                                                                                                    |
| Татары и башкиры<br>[Tatars and bashkirs]                                   | 87                                                                                                                   | 68                                                                                                       |
| Славяне<br>[Slavic]                                                         | 97                                                                                                                   | 58                                                                                                       |

Для подсчета вероятности риска развития помутнения хрусталика в передней капсуле в зависимости от дозы облучения хрусталика выборка была разбита на 2 подгруппы: 1) с дозой на хрусталик ниже 5 мГр (контроль, n=151); 2) с дозой на хрусталик выше 5мГр (основная, n=159). В каждой группе было посчитано количество человек, имеющих данный вид помутнения и без него (табл. 4).

В результате исследования установлено, что отношение шансов при развитии изменений в передней капсуле в зависимости от дозы облучения хрусталика составляет

1,26 (95 % ДИ: 0,81–1,97), что свидетельствует об отсутствии статистической значимости связи между фактором и исходом ( $p>0,05$ ).

Кора хрусталика

Т.к. количество «случаев» при выборе пары случай – контроль по возрастным группам и по полу получается неравномерным, были созданы 2 группы по числу случай – контроль. В таблице 5 показано распределение случаев –контролей по нерадиационным факторам в обеих выборках.

Риск развития помутнений в передней капсуле хрусталика в зависимости от дозы облучения

Таблица 4

[Table 4]

The risk of opacification of the anterior capsule related to the dose

| Дозовые группы            | Нет помутнения в передней капсуле | Помутнение в передней капсуле | Всего |
|---------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-------|
| <5мГр                     | 80                                | 71                            | 151   |
| ≥5 мГр                    | 75                                | 84                            | 159   |
| Всего                     | 155                               | 155                           | 310   |
| Отношение шансов (95% ДИ) | 1.26 (0.81 -1.97)                 |                               |       |

Распределение случаев – контролей по нерадиационным факторам (кора хрусталика)

Таблица 5

[Table 5]

Distribution of case-controls on non-radiation factors (cortex of the eye lens)

| Показатель<br>[Indicator]                                                 | Контроль<br>(нет помутнения в корковых слоях), n=286<br>[Control<br>No opacification in the cortex layers n = 286] | Случай<br>(помутнение в корковых слоях), n=286<br>[Case<br>Opacification of the cortex layers n = 286] |
|---------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                           | Выборка 1<br>[Sample 1]                                                                                            |                                                                                                        |
| Мужчины<br>[Male]                                                         | 88                                                                                                                 | 88                                                                                                     |
| Женщины<br>[Female]                                                       | 198                                                                                                                | 198                                                                                                    |
| Средний возраст на момент диагноза<br>[Mean age at the time of diagnosis] | 62                                                                                                                 | 61                                                                                                     |

Окончание таблицы 5

| Показатель<br>[Indicator]                                                    | Контроль<br>(нет помутнения в корковых слоях), n=286<br>[Control<br>No opacification in the cortex layers n = 286] | Случай<br>(помутнение в корковых слоях), n=286<br>[Case<br>Opacification of the cortex layers n = 286] |
|------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Возрастной диапазон<br>[Age range]                                           | 32–86                                                                                                              | 18–83                                                                                                  |
| Средняя доза на хрусталик, мГр,<br>[Mean absorbed dose in the eye lens, mGy] | 20±(4)                                                                                                             | 20 ±(4)                                                                                                |
| Диапазон доз, мГр<br>[Absorbed dose range, mGy]                              | >0–510                                                                                                             | >0–600                                                                                                 |
| Татары и башкиры<br>[Tatars and bashkirs]                                    | 112                                                                                                                | 121                                                                                                    |
| Славяне<br>[Slavic]                                                          | 174                                                                                                                | 165                                                                                                    |
| Выборка 2<br>[Sample 2]                                                      |                                                                                                                    |                                                                                                        |
| Мужчины<br>[Male]                                                            | 88                                                                                                                 | 88                                                                                                     |
| Женщины<br>[Female]                                                          | 198                                                                                                                | 198                                                                                                    |
| Средний возраст на момент диагноза<br>[Mean age at the time of diagnosis]    | 62                                                                                                                 | 61                                                                                                     |
| Возрастной диапазон<br>[Age range]                                           | 32–84                                                                                                              | 25–83                                                                                                  |
| Средняя доза на хрусталик, мГр,<br>[Mean absorbed dose in the eye lens, mGy] | 20±(3)                                                                                                             | 20 ±(4)                                                                                                |
| Диапазон доз, мГр<br>[Absorbed dose range, mGy]                              | >0–600                                                                                                             | >0–510                                                                                                 |
| Татары и башкиры<br>[Tatars and bashkirs]                                    | 127                                                                                                                | 121                                                                                                    |
| Славяне<br>[Slavic]                                                          | 159                                                                                                                | 165                                                                                                    |

По результатам исследования в обеих выборках не получено достоверных доказательств влияния национальности на развитие помутнений в корковых слоях хрусталика (1 выборка ОШ=1,14(95% ДИ: 0,81–1,59); 2 выборка ОШ=1,17(95% ДИ: 0,78–1,52)) ( $p>0,05$ ).

В таблице 6 показана вероятность риска развития помутнений в коре хрусталика в зависимости от дозы облучения по результатам анализа в дозовой группе <5мГр (контроль) и в дозовой группе  $\geq 5$  мГр в обеих выборках.

Таблица 6

## Риск развития помутнений в коре хрусталика в зависимости от дозы облучения

[Table 6]

## The risk of opacification of the cortex of the eye lens related to the dose

| Дозовые группы<br>[Dose groups]                                        | Помутнения в корковых слоях нет<br>[No pacification of the cortex layers] | Помутнение в корковых слоях<br>есть<br>[Opacification of the cortex layers] | Всего<br>[Total] |
|------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|------------------|
| Выборка 1<br>[Sample 1]                                                |                                                                           |                                                                             |                  |
| <5мГр<br>[<5 mGy]                                                      | 189                                                                       | 171                                                                         | 360              |
| ≥5 мГр<br>[≥5 mGy]                                                     | 97                                                                        | 115                                                                         | 212              |
| Всего<br>[Total]                                                       | 286                                                                       | 286                                                                         | 572              |
| Отношение шансов (95% ДИ)<br>[Relation of chances<br>(95% conf. int.)] | 1,31(0,93–1,84)                                                           |                                                                             |                  |
| Выборка 2<br>[Sample 2]                                                |                                                                           |                                                                             |                  |
| <5мГр<br>[<5 mGy]                                                      | 188                                                                       | 166                                                                         | 354              |
| ≥5 мГр<br>[≥5 mGy]                                                     | 98                                                                        | 120                                                                         | 218              |
| Всего<br>[Total]                                                       | 286                                                                       | 286                                                                         | 572              |
| Отношение шансов (95% ДИ)<br>[Relation of chances<br>(95% conf. int.)] | 1,39 (0,99–1,95)                                                          |                                                                             |                  |

По результатам исследования значения ОШ в обеих выборках примерно одинаковые, и с учетом значений доверительного интервала не получено доказательств влияния дозы облучения на развитие помутнений хрусталика в корковых слоях ( $p > 0,05$ ).

#### Ядро хрусталика

При анализе риска развития помутнений в ядре хрусталика также исследование проводилось на двух выборках. Всего в каждое исследование включено по 290 человек. В таблице 7 показано распределение случаев – контролей по нерадиационным факторам.

В обеих выборках нет достоверных доказательств влияния национальности на развитие помутнений в ядре хрусталика (1 выборка ОШ=1,29 (95 % ДИ: 0,81–2,06); 2 выборка ОШ=0,89 (95 % ДИ: 0,56–1,42)) ( $p > 0,05$ ).

В таблице 8 показан риск развития помутнений в ядре хрусталика в зависимости от дозы облучения в 2 исследованиях случай – контроль.

По результатам двух исследований случай-контроль (см. табл. 8) получены схожие оценки ОШ (1,62 (95%

ДИ: 1,01–2,60) и 1,84 (95% ДИ: 1,14–2,95)), что свидетельствует о влиянии дозы облучения хрусталика на развитие помутнения в ядре ( $p < 0,05$ ).

#### Окраска ядра хрусталика

Ядерная катаракта дифференцируются в нашем исследовании не только по наличию помутнения, но также и в зависимости от цвета ядра (от отсутствия окрашивания до темно-коричневого цвета). При анализе этого параметра выборка состоит из 258 человек – по 129 случаев и контролей, анализ проводился также по двум выборкам. В таблице 9 показано распределение случаев – контролей по нерадиационным факторам (пол, национальность, средний возраст на момент диагноза, возрастной диапазон в каждой группе, диапазон доз и средняя доза по группам).

По результатам исследования в обеих выборках также не получено достоверных доказательств влияния национальности на развитие помутнений в ядре хрусталика (1 выборка ОШ=0,78 (95 % ДИ: 0,47–1,27); 2 выборка ОШ=0,94 (95 % ДИ: 0,57–1,53)) ( $p > 0,005$ ).

Распределение случаев – контролей по нерадиационным факторам (ядро)

Таблица 7

[Table 7]

#### Distribution of case-controls on non-radiation factors (nucleus)

| Показатель<br>[Indicator]                                                    | Контроль<br>(нет помутнения в ядре), n=145<br>[Control<br>No opacification of the nucleus n=145] | Случай<br>(помутнение в ядре),<br>n=145<br>[Case<br>Opacification of the nucleus n = 145] |
|------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                              | Выборка 1<br>[Sample 1]                                                                          |                                                                                           |
| Мужчины<br>[Male]                                                            | 49                                                                                               | 49                                                                                        |
| Женщины<br>[Female]                                                          | 96                                                                                               | 96                                                                                        |
| Средний возраст на момент диагноза<br>[Mean age at the time of diagnosis]    | 69                                                                                               | 71                                                                                        |
| Возрастной диапазон<br>[Age range]                                           | 58–86                                                                                            | 56–92                                                                                     |
| Средняя доза на хрусталик, мГр,<br>[Mean absorbed dose in the eye lens, mGy] | 30±(6)                                                                                           | 50 ±(8)                                                                                   |
| Диапазон доз, мГр<br>[Absorbed dose range, mGy]                              | >0 – 500                                                                                         | >0 –600                                                                                   |
| Татары и башкиры<br>[Tatars and bashkirs]                                    | 56                                                                                               | 65                                                                                        |
| Славяне<br>[Slavic]                                                          | 89                                                                                               | 80                                                                                        |
|                                                                              | Выборка 2<br>[Sample 2]                                                                          |                                                                                           |
| Мужчины<br>[Male]                                                            | 49                                                                                               | 49                                                                                        |
| Женщины<br>[Female]                                                          | 96                                                                                               | 96                                                                                        |
| Средний возраст на момент диагноза<br>[Men age at the time of diagnosis]     | 68                                                                                               | 71                                                                                        |
| Возрастной диапазон<br>[Age range]                                           | 55–86                                                                                            | 56–86                                                                                     |
| Средняя доза на хрусталик, мГр,<br>[Mean absorbed dose in the eye lens, mGy] | 31±(6)                                                                                           | 50 ±(9)                                                                                   |
| Диапазон доз, мГр<br>[Absorbed dose range, mGy]                              | >0– 500                                                                                          | >0–600                                                                                    |
| Татары и башкиры<br>[Tatars and bashkirs]                                    | 62                                                                                               | 58                                                                                        |
| Славяне<br>[Slavic]                                                          | 83                                                                                               | 87                                                                                        |

Риск развития помутнений в ядре хрусталика в зависимости от дозы облучения

Таблица 8

[Table 8]

## The risk of opacification of the nucleus of the eye lens related to the dose]

| Дозовые группы<br>[Dose groups]                                        | Помутнения в ядре нет<br>[No opacification of the nucleus] | Помутнения в ядре<br>[Opacification of the nucleus] | Всего<br>[Total] |
|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------|
| Выборка 1<br>[Sample 1]                                                |                                                            |                                                     |                  |
| <5мГр<br>[<5 mGy]                                                      | 69                                                         | 52                                                  | 121              |
| ≥5 мГр<br>[≥5 mGy]                                                     | 76                                                         | 93                                                  | 169              |
| Всего<br>[Total]                                                       | 145                                                        | 145                                                 | 290              |
| Отношение шансов (95% ДИ)<br>[Relation of chances<br>(95% conf. int.)] |                                                            | 1,62 (1,01-2,60)                                    |                  |
| Выборка 2<br>[Sample 2]                                                |                                                            |                                                     |                  |
| <5мГр<br>[<5 mGy]                                                      | 69                                                         | 48                                                  | 117              |
| ≥5 мГр<br>[≥5 mGy]                                                     | 76                                                         | 97                                                  | 173              |
| Всего<br>[Total]                                                       | 145                                                        | 145                                                 | 290              |
| Отношение шансов (95% ДИ)<br>[Relation of chances<br>(95% conf. int.)] |                                                            | 1,84 (1,14-2,95)                                    |                  |

Таблица 9

Распределение случаев – контролей по нерадиационным факторам (окраска ядра)

[Table 9]

## Distribution of case-controls on non-radiation factors (staining of the nucleus)]

| Показатель<br>[Indicator]                                                    | Контроль<br>(нет изменений окраски ядра), n=129<br>[Control<br>No changes in the staining of the nucleus<br>n = 129] | Случай<br>(есть изменения окраски ядра), n=129<br>[Case<br>Changes in the staining of the nucleus n = 129] |
|------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Выборка 1<br>[Sample 1]                                                      |                                                                                                                      |                                                                                                            |
| Мужчины<br>[Male]                                                            | 45                                                                                                                   | 45                                                                                                         |
| Женщины<br>[Female]                                                          | 84                                                                                                                   | 84                                                                                                         |
| Средний возраст на момент диагноза<br>[Mean age at the time of diagnosis]    | 71                                                                                                                   | 73                                                                                                         |
| Возрастной диапазон<br>[Age range]                                           | 60-86                                                                                                                | 61-92                                                                                                      |
| Средняя доза на хрусталик, мГр,<br>[Mean absorbed dose in the eye lens, mGy] | 50±(9)                                                                                                               | 50 ±(8)                                                                                                    |
| Диапазон доз, мГр<br>[Absorbed dose range, mGy]                              | >0–600                                                                                                               | >0–560                                                                                                     |
| Татары и башкиры<br>[Tatars and bashkirs]                                    | 50                                                                                                                   | 58                                                                                                         |
| Славяне<br>[Slavic]                                                          | 79                                                                                                                   | 71                                                                                                         |
| Выборка 2<br>[Sample 2]                                                      |                                                                                                                      |                                                                                                            |
| Мужчины<br>[Male]                                                            | 45                                                                                                                   | 45                                                                                                         |
| Женщины<br>[Female]                                                          | 84                                                                                                                   | 84                                                                                                         |
| Средний возраст на момент диагноза<br>[Mean age at the time of diagnosis]    | 71                                                                                                                   | 73                                                                                                         |
| Возрастной диапазон<br>[Age range]                                           | 60–86                                                                                                                | 61–92                                                                                                      |
| Средняя доза на хрусталик, мГр,<br>[Mean absorbed dose in the eye lens, mGy] | 53±(9)                                                                                                               | 49 ±(8)                                                                                                    |
| Диапазон доз, мГр<br>[Absorbed dose range, mGy]                              | >0–600                                                                                                               | >0–560                                                                                                     |
| Татары и башкиры<br>[Tatars and bashkirs]                                    | 58                                                                                                                   | 56                                                                                                         |
| Славяне<br>[Slavic]                                                          | 71                                                                                                                   | 73                                                                                                         |

В таблице 10 показан риск изменения окраски ядра хрусталика в зависимости от дозы облучения также с использованием двух выборок.

По результатам исследования случай – контроль в двух выборках по такому параметру, как зависимость интенсивности окраски ядра хрусталика от дозы облучения на хрусталик, получены противоречивые данные: в первой выборке дозовая зависимость установлена – ОШ=1,76 (95% ДИ:1,06–2,93), во второй выборке ее нет – ОШ=1,42 (95% ДИ:0,84–2,39). Для более точного заключения требуется в дальнейшем повторное исследование на большей выборке.

#### Задняя капсула хрусталика

По данным литературы, в настоящее время предполагается, что воздействие ионизирующего излучения повышает риск развития в первую очередь задних субкапсулярных катаракт. При анализе этого параметра наша выборка состоит из 412 человек – по 206 случаев и контролей. В таблице 11 показано распределение случаев – контролей по нерадиационным факторам.

По результатам исследования не получено доказательств влияния национальности на развитие помутнений в задней капсуле хрусталика (ОШ=0,89(95 % ДИ: 0,60–1,31)) ( $p>0,05$ ).

Для подсчета риска по дозе облучения хрусталика изучаемая выборка была разбита на 2 подгруппы: 1) с дозой на хрусталик ниже 5 мГр (контроль,  $n=151$ ); 2) с дозой на хрусталик выше 5мГр (основная,  $n=159$ ). В каждой группе было посчитано количество человек, имеющих данный вид помутнения и без него (табл. 12).

В результате исследования установлено, что отношение шансов при развитии изменений в задней капсуле в зависимости от дозы облучения хрусталика составляет 1,54 (95% ДИ: 1,04–2,27), что свидетельствует о значимой статистической зависимости между дозой помутнения хрусталика и развитием помутнений в задней капсуле хрусталика ( $p<0,05$ ).

В настоящее время нет четких знаний относительно неканцерогенных эффектов длительного радиационного воздействия с низкой мощностью дозы [22]. В связи с этим результаты исследований отдаленных эффектов облучения в когортах Южного Урала являются очень важным вкладом в понимание этой проблемы. Хрусталик глаза является одним из наиболее радиочувствительных органов у человека. Величина пороговой дозы для развития катаракты обсуждается и сейчас [22, 23].

В рамках данной работы впервые были использованы индивидуальные дозы, накопленные в хрусталике у лиц, облученных на Южном Урале, за весь период наблюдения, на основе единой дозиметрической системы TRDS-2016, созданной в УНПЦ РМ усилиями сотрудников биофизической лаборатории [17–20].

Таким образом, в результате проведенного исследования методом случай – контроль в популяции облученных лиц, подвергшихся многолетнему воздействию ионизирующей радиации в малых дозах, установлено влияние дозы облучения на увеличение риска появления помутнений в задней капсуле и ядре хрусталика. В части вопросов наши данные согласуются с данными в других работах. Так, у японских исследователей, обследовавших пациентов, выживших после атомной бомбардировки, которые на момент облучения были моложе 13 лет, от-

Риск изменения окраски ядра хрусталика в зависимости от дозы облучения

Таблица 10

[Table 10]

#### The risk of changes in the staining of the nucleus of the eye lens related to the dose]

| Дозовые группы<br>[Dose groups]                                        | Нет изменений окраски<br>ядра<br>[No changes in the staining] | Есть изменения окраски<br>ядра<br>[Changes in the staining] | Всего<br>[Total] |
|------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|------------------|
| Выборка 1<br>[Sample 1]                                                |                                                               |                                                             |                  |
| <5мГр<br>[<5 mGy]                                                      | 57                                                            | 40                                                          | 97               |
| ≥5 мГр<br>[≥5 mGy]                                                     | 72                                                            | 89                                                          | 161              |
| Всего<br>[Total]                                                       | 129                                                           | 129                                                         | 258              |
| Отношение шансов (95% ДИ)<br>[Relation of chances<br>(95% conf. int.)] |                                                               | 1,76 (1,06–2,93)                                            |                  |
| Выборка 2<br>[Sample 2]                                                |                                                               |                                                             |                  |
| <5мГр<br>[<5 mGy]                                                      | 48                                                            | 38                                                          | 86               |
| ≥5 мГр<br>[≥5 mGy]                                                     | 81                                                            | 91                                                          | 172              |
| Всего<br>[Total]                                                       | 129                                                           | 129                                                         | 258              |
| Отношение шансов (95% ДИ)<br>[Relation of chances<br>(95% conf. int.)] |                                                               | 1,42 (0,84–2,39)                                            |                  |

Таблица 11

## Распределение случаев – контролей по нерадиационным факторам (задняя капсула)

[Table 11]

## Distribution of case-controls on non-radiation factors (posterior capsule of the eye lens)

| Показатель<br>[Indicator]                                                    | Контроль<br>(нет помутнения в задней капсуле),<br>n=206<br>[Control<br>No opacification of the posterior capsule n<br>= 206] | Случай<br>(помутнение в задней капсуле), n=206<br>[Case<br>Opacification of the posterior capsule n = 206] |
|------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Мужчины<br>[Male]                                                            | 59                                                                                                                           | 59                                                                                                         |
| Женщины<br>[Female]                                                          | 147                                                                                                                          | 147                                                                                                        |
| Средний возраст на момент диагноза<br>[Mean age at the time of diagnosis]    | 68                                                                                                                           | 69                                                                                                         |
| Возрастной диапазон<br>[Age range]                                           | 43–85                                                                                                                        | 40–92                                                                                                      |
| Средняя доза на хрусталик, мГр,<br>[Mean absorbed dose in the eye lens, mGy] | 40±(7)                                                                                                                       | 30 ±(5)                                                                                                    |
| Диапазон доз, мГр<br>[Absorbed dose range, mGy]                              | 0–560                                                                                                                        | 0–510                                                                                                      |
| Татары и башкиры<br>[Tatars and bashkirs]                                    | 90                                                                                                                           | 84                                                                                                         |
| Славяне<br>[Slavic]                                                          | 116                                                                                                                          | 122                                                                                                        |

Таблица 12

## Риск развития помутнений в задней капсуле хрусталика в зависимости от дозы облучения

[Table 12]

## The risk of opacification of the posterior capsule of the eye lens related to the dose

| Дозовые группы<br>[Dose groups]                                        | Нет помутнения в задней<br>капсуле<br>[No opacification of the<br>posterior capsule] | Помутнение в задней<br>капсуле<br>[Opacification of the<br>posterior capsule] | Всего<br>[Total] |
|------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| <5мГр<br>[<5 mGy]                                                      | 109                                                                                  | 87                                                                            | 196              |
| ≥5 мГр<br>[≥5 mGy]                                                     | 97                                                                                   | 119                                                                           | 216              |
| Всего<br>[Total]                                                       | 206                                                                                  | 206                                                                           | 412              |
| Отношение шансов (95% ДИ)<br>[Relation of chances<br>(95% conf. int.)] | 1,54 (1,04–2,27)                                                                     |                                                                               |                  |

ношения шансов для кортикальной и задней субкапсулярной катаракты составили 1,29 (95%ДИ: 1,22–1,49) и 1,41 (95%ДИ: 1,21–1,64) соответственно [10]. Авторы не обнаружили статистически значимой зависимости заболеваемости ядерной катарактой от дозы облучения (ОШ = 1,1; 95%-ДИ: 0,9–1,3). Накашима и др. [11, 24] в 2006 и 2013 гг. опубликовали повторный анализ данных в когорте лиц, переживших атомную бомбардировку в Японии, в котором также показали, что отношение шансов возрастает с увеличением дозы облучения для кортикальной и задней субкапсулярной катаракт. Для ядерной катаракты статистически значимых зависимостей «доза–эффект» не выявлено и в исследованиях на когортах пострадавших в результате Чернобыльской аварии [12].

В то же время в 2005 г. Рафнссон и др. [25] в исследовании методом «случай – контроль» в когорте авиапилотов установили, что из всех видов катаракт лишь частота ядерных катаракт была статистически значимо выше у пилотов, совершающих регулярные рейсы, по сравнению

с лицами, которые никогда не были пилотами, при отношении шансов 3,02 (95 % ДИ: 1,44–6,35).

## Выводы

1. Анализ заболеваемости разными формами катаракты в отдаленном периоде у населения, облученного в результате радиационных аварий на Южном Урале, показал статистически значимое влияние дозы облучения на появление помутнений в задней капсуле и ядре хрусталика.

2. Проведенный анализ на основе метода «случай – контроль» не выявил достоверной статистической зависимости изменений хрусталика с увеличением дозы облучения в передней капсуле и корковых слоях. Также не установлено статистически достоверных значений влияния дозы на изменение цвета ядра хрусталика.

3. По результатам исследования не получено доказательств влияния принадлежности к разным национальным группам на приоритетное развитие помутнений в каких-либо слоях хрусталика.

4. Сопоставимость величин риска с другими исследованиями подтверждает хороший потенциал использования будущих результатов исследования для оценки норм радиационной защиты населения.

**Благодарности.** Данные исследования выполнены при поддержке Федерального медико-биологического агентства РФ. Авторы признательны руководителю биофизической лаборатории УНПЦ РМ М.О. Дегтевой за работу по расчёту индивидуализированных оценок доз на хрусталик, а также сотрудникам отдела База данных «Человек» под руководством Н.В. Старцева – за помощь в проведении работы по прослеживанию жизненного статуса членов когорт.

Авторы данной статьи сообщают об отсутствии конфликта интересов.

## Литература

1. Аклеев, А.В. Медико-биологические и экологические последствия радиоактивного загрязнения реки Теча / А.В. Аклеев, М.Ф. Киселёв. – М.: ФУ «Медбиоэкстрем» при Минздраве РФ, 2001. – 530 с.
2. Аклеев, А.В. Экологические и медицинские последствия радиационной аварии 1957 года на ПО «Маяк» / А.В. Аклеев, М.Ф. Киселёв. – М., 2001. – 290 с.
3. Pascolini D., Mariotti S.P. Global estimates of visual impairment: 2010. Br. J. Ophthalmol., 2012, Vol. 96, N 5, pp. 614–618.
4. Abraham, A.G. [et al.] The new epidemiology of cataract. Ophthalmol. Clin. North. Am., 2006, Vol. 19, N 4, pp. 415–425.
5. Mikryukova, L.D., Akleyev, A.V. Cataract in the chronically exposed residents of the Techa riverside villages. Radiation and Environmental Biophysics, 2017, Vol. 56, N 4, pp. 329–335.
6. Cogan, D.G., Donaldson, D.D. Experimental radiation cataracts. I. Cataracts in the rabbit following single x-ray exposure. AMA Arch. Ophthalmol., 1951, N 45, pp. 508–522.
7. Ham, W.T. Radiation cataract. AMA Arch. Ophthalmol., 1953, N 50, pp. 618–643.
8. Merriam, G.B., Focht E.F. A clinical and experimental study of the effect of single and divided doses of radiation on cataract production. Trans. Am. Ophthalmol., 1962, Soc. 60, pp. 35–52.
9. Worgul, B., Rothstein, N. On the mechanism of radiocataractogenesis. Medikon 6, 1977, pp. 5–14.
10. Minamoto, A. [et al.] Cataract in atomic bomb survivors. Int. J. Radiat. Biol., 2004, Vol. 80, N 5, pp. 339–345.
11. Nakashima, E.A., Neriishi, K., Minamoto, A. reanalysis of atomic-bomb cataract data, 2000–2002: a threshold analysis. Health Phys., 2006, Vol. 90, N 2, pp. 154–60.
12. Worgul, B. [et al.] Cataracts among Chernobyl clean-up workers: implications regarding permissible eye exposures. Radiation Research, 2007, 167, pp. 233–243.
13. Chylack, L.T. [et al.] NASA study of cataract in astronauts (NASCA). Report 1. Cross-sectional study of the relationship of exposure to space radiation and risk of lens opacity. Radiation Research, 2009, 172, pp. 10–20.
14. Ainsbury, E.A. [et al.] Ionizing radiation induced cataracts: recent biological and mechanistic developments and perspectives for future research. Mutat. Res., 2016, N 770 (Pt. B), pp. 238–261.
15. Blakely, E.A. [et al.] Radiation cataractogenesis: epidemiology and biology. Meeting report. Radiation Research, 2010, 173, pp. 709–717.
16. Chylack, L.T. [et al.] The Lens Opacities Classification System III. The Longitudinal Study of Cataract Study Group. Arch Ophthalmol., 1993, V.111(6), pp. 831–836.
17. Degteva, M.O. [et al.] Development of an improved dose reconstruction system for the Techa River population affected by the operation of the Mayak Production Association. Radiation Research, 2006, 166, pp. 255–270.
18. Degteva, M.O. [et al.] Calculations of individual dose from environmental exposures on the Techa River and EURT using TRDS-2016 for members of the TRC. Urals Research Center for Radiation Medicine and Pacific Northwest National Laboratory. Final Report for Milestone 13, Part 1, 2017.
19. Напье, Б.А. Анализ неопределенностей в дозиметрической системе реки Теча / Б.А. Напье, М.О. Дегтева, Н.Б. Шагина, Л.Р. Анспо // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2013. – Т. 58, № 1. – С. 5–28.
20. Дегтева, М.О. Использование методов ЭПР и FISH для реконструкции доз у людей, облучившихся на реке Теча / М.О. Дегтева, Е.А. Шишкина, Е.И. Толстых, А.В. Возилова, Н.Б. Шагина, А.Ю. Волчкова, Д.В. Иванов, В.И. Заляпин, А.В. Аклеев // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2017. – Т. 57, №1 – С. 30–41.
21. Флетчер, Р. Клиническая эпидемиология: Основы доказательной медицины / Р. Флетчер, С. Флетчер, Э. Вагнер. – М.: Медиа Сфера, 1998. – 352 с.
22. ICRP Publication 118. Elsevier, 2012. – 322 p.
23. Radiological protection in medicine. ICRP Publication 105. Ann. ICRP 37(6).
24. Nakashima, E. [et al.] Radiation dose responses, thresholds, and false negative rates in a series of cataract surgery prevalence studies among atomic bomb survivors. Health Phys., 2013, Vol. 105, N 3, pp. 253–260.
25. Rafnsson, V. [et al.] Cosmic radiation increases the risk of nuclear cataract in airline pilots. Arch. Ophthalmol., 2005, Vol. 123, N 8, pp. 1102–1105.

Поступила: 15.08.2018 г.

**Микрюкова Людмила Дмитриевна** – кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник эпидемиологической лаборатории Уральского научно-практического центра радиационной медицины ФМБА России. **Адрес для переписки:** 454076, г. Челябинск, ул. Воровского д. 68а. E-mail: mikludm@mail.ru

**Крестинина Людмила Юрьевна** – кандидат медицинских наук, заведующая эпидемиологической лабораторией Уральского научно-практического центра радиационной медицины ФМБА России, Челябинск, Россия

**Епифанова Светлана Борисовна** – старший инженер эпидемиологической лаборатории Уральского научно-практического центра радиационной медицины ФМБА России, Челябинск, Россия

**Для цитирования:** Микрюкова Л.Д., Крестинина Л.Ю., Епифанова С.Б. Изучение послойных изменений хрусталика в процессе формирования катаракты у лиц, подвергшихся облучению в результате радиационных инцидентов на Южном Урале // Радиационная гигиена. – 2018. – Т. 11, № 4. – С. 51–63. DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-4-51-63

## A study of layered lens change in the process of cataract formation in persons exposed to radiation as a result of radiation accidents in the Southern Urals

Lyudmila D. Mikryukova, Lyudmila Yu. Krestinina, Svetlana B. Epiphanova

Urals Research Center for Radiation Medicine FMBA of Russia, Chelyabinsk, Russia

*Up to now there is no clear understanding of health risk and type of dose dependence for the population chronically exposed within a range of low and average dose levels (to 1Gy). In this respect studies performed in cohorts with a sufficient number of persons can have a significant potential in providing necessary information. Objective: to study peculiarities of lens opacity in exposed persons at later time after chronic radiation exposure with due account for dose impact and nonradiation factors. The study includes patients from the URCRM registry of exposed population examined by an ophthalmologist in the period 2016–2018 (total 1,377 persons). The same technique of medical examination with photofixation of lens opacity was applied to all examined individuals. A case-control technique was used to conduct the study. Individual exposure doses to lens were calculated on the basis of TRDS-2016 for the first time within the framework of the present study. As a result of the performed study among persons exposed to long-term ionizing low-dose radiation we have determined an exposure dose impact on risk growth of opacity in the posterior capsule and lens nucleus. No reliable statistical dependence of lens change with an increasing exposure dose in anterior capsule and cortical layers as well as colour change of the lens nucleus was obtained. Belonging to different ethnical groups showed no impact on priority opacification development in any lens layers.*

**Key words:** ionizing radiation, case-control, eye, lens, cataract, low-dose exposure

### References

1. Medical-biological and ecological impacts of radioactive contamination of the Techa river. Edited by A.V. Akleyev, M.F. Kiselev. Moscow, "Medbioextrem" Russian Ministry of Health, 2001, 530 p. (In Russian)
2. Ecological and health effects of the radiation accident of 1957 at the Mayak PA. Eds.: A.V. Akleyev, M.F. Kiselev. Moscow, "Medbioextrem" Russian Ministry of Health, 2001, 290 p. (In Russian)
3. Pascolini D., Mariotti S.P. Global estimates of visual impairment: 2010. Br. J. Ophthalmol., 2012, Vol. 96, N 5, pp. 614–618.
4. Abraham, A.G. [et al.] The new epidemiology of cataract. Ophthalmol. Clin. North. Am., 2006, Vol. 19, N 4, pp. 415–425.
5. Mikryukova, L.D., Akleyev, A.V. Cataract in the chronically exposed residents of the Techa riverside villages. Radiation and Environmental Biophysics, 2017, Vol. 56, N 4, pp. 329–335.
6. Cogan, D.G., Donaldson, D.D. Experimental radiation cataracts. I. Cataracts in the rabbit following single x-ray exposure. AMA Arch. Ophthalmol., 1951, N 45, pp. 508–522.
7. Ham, W.T. Radiation cataract. AMA Arch. Ophthalmol., 1953, N 50, pp. 618–643.
8. Merriam, G.B., Focht E.F. A clinical and experimental study of the effect of single and divided doses of radiation on cataract production. Trans. Am. Ophthalmol., 1962, Soc. 60, pp. 35–52.
9. Worgul, B., Rothstein, N. On the mechanism of radiocataractogenesis. Medikon 6, 1977, pp. 5–14.
10. Minamoto, A. [et al.] Cataract in atomic bomb survivors. Int. J. Radiat. Biol., 2004, Vol. 80, N 5, pp. 339–345.
11. Nakashima, E.A., Neriishi, K., Minamoto, A. reanalysis of atomic-bomb cataract data, 2000–2002: a threshold analysis. Health Phys., 2006, Vol. 90, N 2, pp. 154–60.
12. Worgul, B. [et al.] Cataracts among Chernobyl clean-up workers: implications regarding permissible eye exposures. Radiation Research, 2007, 167, pp. 233–243.
13. Chylack, L.T. [et al.] NASA study of cataract in astronauts (NASCA). Report 1. Cross-sectional study of the relationship of exposure to space radiation and risk of lens opacity. Radiation Research, 2009, 172, pp. 10–20.
14. Ainsbury, E.A. [et al.] Ionizing radiation induced cataracts: recent biological and mechanistic developments and perspectives for future research. Mutat. Res., 2016, N 770 (Pt. B), pp. 238–261.
15. Blakely, EA. [et al.] Radiation cataractogenesis: epidemiology and biology. Meeting report. Radiation Research, 2010, 173, pp. 709–717.
16. Chylack, LT. [et al.] The Lens Opacities Classification System III. The Longitudinal Study of Cataract Study Group. Arch Ophthalmol., 1993, V.111(6), pp. 831–836.
17. Degteva, M.O. [et al.] Development of an improved dose reconstruction system for the Techa River population affected by the operation of the Mayak Production Association. Radiation Research, 2006, 166, pp. 255–270.
18. Degteva, M.O. [et al.] Calculations of individual dose from environmental exposures on the Techa River and EURT using TRDS-2016 for members of the TRC. Urals Research Center for Radiation Medicine and Pacific Northwest National Laboratory. Final Report for Milestone 13, Part 1, 2017.

**Lyudmila D. Mikryukova**

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

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

19. Napier B.A., Degteva M.O., Shagina N.B. [et al.] Analysis of the uncertainties in the dosimetry system of the Tcha river. *Meditsinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost* = Medical Radiology and Radiation Safety, 2013; 58; 1: 5-28. (in Russian)
20. Degteva M.O., Shishkina E.A., Tolstykh E.I. [et. al.] The use of EPR and FISH methods for the reconstruction of the doses of the public exposed on the Tcha river. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya*. = Radiation biology. Radioecology. 2017; 1: 30-41. (in Russian)
21. Fletcher R., Fletcher C., Vagner E. Clinical epidemiology and the basics of evidence-based medicine. Moscow, Media Sphera, 1998, 352 p. (in Russian)
22. ICRP Publication 118. Elsevier, 2012. – 322 p.
23. Radiological protection in medicine. ICRP Publication 105. Ann. ICRP 37(6).
24. Nakashima, E. [et al.] Radiation dose responses, thresholds, and false negative rates in a series of cataract surgery prevalence studies among atomic bomb survivors. *Health Phys.*, 2013, Vol. 105, N 3, pp. 253–260.
25. Rafnsson, V. [et al.] Cosmic radiation increases the risk of nuclear cataract in airline pilots. *Arch. Ophthalmol.*, 2005, Vol. 123, N 8, pp. 1102–1105.

Received: August 15, 2018

**For correspondence: Lyudmila D. Mikryukova** Candidate of Medical Science, Senior Researcher, Epidemiological Laboratory, Urals Research Center for Radiation Medicine, Federal Medical Biological Agency of Russia (Vorovsky str., 78a, Chelyabinsk, 454076, Russia; E-mail: mikludm@mail.ru)

**Lyudmila Yu. Krestinina** – Candidate of Medical Science, Head, Epidemiological Laboratory, Urals Research Center for Radiation Medicine, Federal Medical-Biological Agency of Russia, Chelyabinsk, Russia

**Svetlana B. Epifanova** – Senior Engineer, Epidemiological Laboratory, Urals Research Center for Radiation Medicine, Federal Medical Biological Agency of Russia, Chelyabinsk, Russia

**For citation: Mikryukova L.D., Krestinina L.Yu., Epifanova S.B. A study of layered lens change in the process of cataract formation in persons exposed to radiation as a result of radiation accidents in the Southern Urals. *Radiatsionnaya gygiena* = Radiation Gygiene, 2018, Vol. 11, No. 4, pp. 51-63. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-4-51-63**

## Послеаварийный контроль внутреннего облучения при радиационных авариях на кораблях и судах с ядерными энергетическими установками: задачи и аппаратурно-методическое обеспечение

В.Б. Фирсанов<sup>1</sup>, В.А. Тарита<sup>1</sup>, Д.В. Арефьева<sup>2</sup>, Г.Я. Брук<sup>3</sup>, В.А. Яковлев<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины имени А.М. Никифорова Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Научно-исследовательский институт промышленной и морской медицины, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup>Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Санкт-Петербург, Россия

*При чрезвычайной ситуации радиационного характера на кораблях и судах с ядерными энергетическими установками может произойти выброс радиоактивных веществ в окружающую среду и их поступление в организм человека. Радиоактивное загрязнение характеризуется сложным и быстро распадающимся во времени составом радионуклидов — продуктами ядерного деления и наведенной активности, что обосновывает необходимость оперативного послеаварийного контроля внутреннего облучения. В статье приводится классификация радиационных аварий применительно к кораблям. В качестве примера рассматривается одна из наиболее тяжелых аварий, которая произошла при перегрузке ядерного топлива на атомной подводной лодке в бухте Чажма в 1985 г. Описываются способы определения инкорпорированной активности. Показано, что наиболее точным является метод прямого измерения содержания радионуклидов в организме или органе с применением спектрометров излучений человека. Предлагается аппаратурно-методическое обеспечение и схема основных мероприятий при осуществлении послеаварийного индивидуального контроля внутреннего облучения персонала судов с ядерными энергетическими установками.*

**Ключевые слова:** радиационная авария, ядерная энергетическая установка, внутреннее облучение, радионуклид, спектрометр излучений человека.

### Введение

За время эксплуатации кораблей Военно-морского флота (ВМФ) с ядерными энергетическими установками (ЯЭУ) произошло более 350 аварийных ситуаций, сопровождавшихся ухудшением радиационной обстановки. При этом повышенному облучению подверглись 461 человек, у 193 из них развились острые радиационные поражения, завершившиеся у 12 пораженных летальным исходом [1].

Аварии на кораблях и судах с ЯЭУ могут привести к радиоактивному загрязнению не только непосредственно корабельных помещений, но и прилегающих к ним территорий. Радиоактивное загрязнение окружающей среды характеризуется сложным и быстро меняющимся во времени составом радионуклидов — продуктов ядерного деления и наведенной активности.

В зависимости от характера и масштабов повреждений и разрушений аварии подразделяют на проектные, проектные с наибольшими последствиями (максимально проектные) и запроектные (гипотетические) [ГОСТ Р 22.0.05-94]. В данной работе рассматриваются максимально проектные и запроектные аварии как оказывающие значимое воздействие на персонал, население и окружающую среду.

Максимальная проектная авария (МПА) — проектная авария с наиболее тяжелым исходным событием, устанавливаемым для каждого типа реактора [ГОСТ 27445-87].

К запроектным относятся аварии, вызываемые не учитываемыми для проектных аварий исходными состояниями и сопровождающиеся дополнительными по сравнению с проектными авариями отказами систем безопасности и реализациями ошибочных решений персонала, при-

**Фирсанов Владимир Борисович**

Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины имени А.М. Никифорова МЧС России

Адрес для переписки: 194044, Россия, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 4/2; E-mail: sich@arcerm.spb.ru

ведшими к тяжелым последствиям. Запроектные аварии могут привести к тяжелым радиационным чрезвычайным ситуациям на значительном удалении от места аварии. Снижение последствий запроектных аварий достигается управлением аварией и/или реализацией плана аварийных мероприятий по защите персонала и населения.

Вариация радионуклидных составов загрязнения воздушной среды при авариях на ЯЭУ крайне широка, и в силу этого алгоритмы оценки уровня суммарного поступления в организм продуктов ядерного деления (ПЯД) и активации строятся по-разному в зависимости от наличия априорной информации о характере аварии. Рассматриваются следующие наиболее возможные аварийные ситуации на кораблях и судах с ЯЭУ [2]:

- малая, но длительная течь теплоносителя первого контура – авария типа А1;
- крупная кратковременная протечка теплоносителя при длительной (до 2 лет) кампании работы ЯЭУ – авария типа А2;
- самопроизвольная цепная реакция (СЦР) при загрузке свежих тепловыделяющих энергетических сборок (ТВЭС) – авария типа А3;
- СЦР при выгрузке ТВЭС при длительной кампании и времени выдержки отработанного ядерного топлива (ОЯТ) порядка 10 суток – авария типа А4.

Анализ последствий аварий, возможных на предприятиях атомного судостроения и судоремонта, показал, что одной из наиболее вероятных и тяжелых по своим радиологическим последствиям максимальной запроектной аварией является СЦР при выгрузке ОЯТ [3]. Аварии такого типа неоднократно случались при перегрузке ядерного топлива.

Наиболее тяжелая из аварий этого типа произошла в бухте Чажма, где 10 августа 1985 г. на АПЛ К-431 проекта 675 производилась перезарядка активных зон реакторов [4]. Работы проводились с нарушениями требований ядерной безопасности и технологии. Произошла неуправляемая СЦР деления ядер урана в реакторе левого борта, приведшая к тепловому взрыву.

В центре взрыва уровень радиации составлял 90 000 рентген в час, что привело к мгновенной смерти находившихся там лиц. Погибли 8 офицеров и 2 матроса. На подводной лодке начался пожар, который сопровождался мощными выбросами радиоактивной пыли и пара. В атмосферу были выброшены радионуклиды ядерного топлива с активностью около 5 млн Ки. Была загрязнена акватория бухты Чажма и Уссурийского залива на протяжении 30 км от места аварии. В ходе аварии и при ликвидации ее последствий пострадали 290 (по другим данным — 260) человек. Кроме погибших от облучения в момент аварии, у 10 человек зафиксирована острая лучевая болезнь, у 39 – лучевая реакция. Так как предприятие является режимным, в основном пострадали военнослужащие, которые одними из первых приступили к ликвидации последствий катастрофы. По классификации Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) ее можно отнести к аварии 5 уровня, т.е. это авария, опасная для окружающей среды [5].

При чрезвычайных ситуациях радиационного характера на действующих или недавно остановленных ядерных реакторах ведущим дозообразующим фактором является

внешнее облучение. В то же время при некоторых типах радиационных аварий вклад в суммарную эффективную дозу облучения за счет инкорпорированных радионуклидов может достигать 20–25% [6].

Определение инкорпорированной активности в теле человека, как правило, проводится одним из трех способов. Первый – измерение концентрации радионуклида в воздухе, воде и продуктах питания с последующим расчетом поступления, отложения и удержания в организме. Невозможность точно учесть индивидуальное потребление (например, объем воздуха, прошедшего через легкие), реальные характеристики поступающего радиоактивного вещества (дисперсность аэрозолей, их физико-химические свойства, характер загрязнений и т.д.), индивидуальные параметры усвоения (коэффициент удержания в легких, переход в желудочно-кишечный тракт, в кровь и т.п.) – все эти особенности делают этот способ весьма приблизительным. Второй широко используемый метод определения активности радионуклидов в организме – измерение содержания радиоактивных веществ в биопробах (в крови, в волосах, в зубах и т.д.) и особенно в выделениях человека (кал, моча) с последующим пересчетом на основании принятых моделей метаболизма. Однако применение усредненных параметров метаболизма при определении содержания радионуклидов в теле или критическом органе в этом случае также может внести значительную погрешность из-за их индивидуальной вариативности.

Наиболее точным является метод прямого измерения содержания радионуклидов в организме или органе с применением спектрометров излучений человека (СИЧ) путем регистрации их проникающего фотонного излучения (гамма-излучения, рентгеновского, тормозного), исходящего из тела человека. СИЧ, в наиболее распространенной комплектации оснащенные сцинтилляционными детекторами, применяются для определения инкорпорированной активности во всем теле или отдельном органе с последующей оценкой дозы внутреннего облучения.

При возможных максимально проектных и запроектных авариях на кораблях и судах с ЯЭУ состав инкорпорированных радионуклидов может быть достаточно сложным с большой долей короткоживущих ПЯД. Для решения одной из основных задач послеаварийного контроля – прогноза ближайших эффектов поражения – необходима экспрессная информация о различных действовавших радиационных факторах, в том числе и внутреннего облучения. Следует отметить, что если обследование пострадавших при аварии не будет проведено в ближайшие часы после инкорпорации, то значительная часть информации о внутреннем облучении будет потеряна из-за распада короткоживущих радионуклидов. Ввиду этого, во избежание потери данных о вкладе в дозу за счет внутреннего облучения, обследование потенциально пострадавших должно быть выполнено в возможно короткие сроки – до 3–12 ч после аварии.

**Цель исследования** – разработка схемы и аппаратно-методического обеспечения послеаварийного индивидуального контроля внутреннего облучения персонала судов с ЯЭУ.

### Материалы и методы

Для осуществления послеаварийного контроля предлагается использовать комплекс контроля внутреннего облучения, состоящий из:

1. Малогабаритного переносного СИЧ типа РИГ-07Т (рис. 1), предназначенного для измерения в спектрометрическом режиме потока излучения от всего тела, легких и щитовидной железы, размещенного непосредственно на корабле или ином радиационно опасном объекте. РИГ-07Т состоит из одного сцинтилляционного блока детектирования NaI(Tl) размером  $\varnothing 25 \times 25$  мм, помещенного в защитный экран с поворотным эллиптическим коллиматором, который поворачивается на  $90^\circ$  и фиксируется в двух положениях, когда большая ось входного окна находится горизонтально (для геометрии измерения «щитовидная железа») или вертикально (для геометрий измерения «все тело» и «легкие»), и устройства накопления и обработки информации [7].



**Рис. 1.** Радиометр активности гамма-излучающих радионуклидов РИГ-07Т

**[Fig. 1.** Radiometer of the activity of the gamma-emitting radionuclides RIG-07T]

2. Многофункционального высокочувствительного СИЧ типа СИЧ-Э (рис. 2), предназначенного для уточнения состава, активности и распределения по органам инкорпорированных радионуклидов [8], которыми могут быть оснащены крупные специализированные клиники и медицинские центры, предназначенные для осуществления медицинского реагирования на радиологические аварийные ситуации (например, ФГБУ ГНЦ-ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России (г. Москва), ФГБУ ВЦЭРМ им. А.М. Никитина МЧС России (г. Санкт-Петербург) и др.). СИЧ-Э, разработанный и введенный в 2008 г. в эксплуатацию в клинике № 1 ВЦЭРМ им. А.М. Никитина МЧС России, состоит из:

- защитной камеры массой 95 тонн;
- 4 блока детектирования (БД) на основе монокристаллов NaI(Tl) размером  $\varnothing 160 \times 160$  мм для измерения гамма-излучения от всего тела человека в режиме линейного продольного сканирования;
- 4 БД на основе монокристаллов NaI(Tl) размером  $\varnothing 150 \times 3$  мм для измерения в режиме линейного продольного сканирования содержания радионуклида  $^{90}\text{Sr}$  в костной ткани скелета по спектру тормозного излучения;



**Рис. 2.** Система детектирования СИЧ-Э  
**[Fig. 2.** Detection system SICH-E]

- 4 коллимированных БД на основе монокристаллов NaI(Tl) размером  $\varnothing 63 \times 63$  мм для измерения гамма-излучающих радионуклидов в различных органах;
- одного коаксиального полупроводникового детектора (ППД), предназначенного для расшифровки измеренных гамма-спектров от человека;
- 4 планарных ППД для измерения трансураниевых элементов в легких по спектру рентгеновского излучения этих радионуклидов.

Учитывая сложный состав инкорпорированных радионуклидов, традиционные методы оценки дозы внутреннего облучения персонала и населения, основанные на результатах измерения содержания радионуклидов в теле человека сцинтилляционными детекторами и последующем расчете уровней суммарного поступления практически применить невозможно, так как зарегистрированные от тела человека либо отдельных органов спектры гамма-излучения трудно расшифровать без применения дорогостоящего оборудования на основе ППД.

Располагая информацией об уровне суммарного поступления ПЯД в организм, можно при послеаварийном обследовании оперативно оценить возможный вклад внутреннего облучения в дозу сочетанного (внешнего и внутреннего) облучения [2].

### Результаты и обсуждение

Для радиометра РИГ-07Т экспериментально установлено, что эффективность регистрации гамма-излучения от всего тела в геометрии измерения «стоя» на расстоянии 2 м от детектора в энергетическом интервале 100–3000 кэВ практически (в пределах не хуже 20–30%) не зависит от энергии гамма-излучения и составляет 7,5 имп/с·МБк при 100% квантовом выходе [9]. Это позволяет при послеаварийном контроле непосредственно сопоставить измеряемую скорость счета с числом гамма-квантов, излучаемых телом человека, тем самым решая первую задачу послеаварийного контроля – сортировку пострадавших по уровню содержания ПЯД на лиц, требующих дальнейшего обследования (с целью уточнения уровней поступления и поглощенных доз излучения) и, возможно,

лечения, и лиц, находившихся в зоне аварии, но не подвергшихся значимому внутреннему облучению [9].

Следующей задачей послеаварийного обследования является оперативная оценка уровня суммарного поступления в организм ПЯД, а также определение поглощенных доз излучения в легких и щитовидной железе. Экспресс-оценка уровня суммарного поступления ПЯД проводится по формуле:

$$A, \text{МБк} = (N_{\text{чел}} - N_{\text{ф}}) \cdot K_{\text{гр}}, (1)$$

где  $K_{\text{гр}}$  – градуировочный коэффициент для различных сроков обследования (табл. 1), МБк·с/имп;

$N_{\text{чел}}$ ,  $N_{\text{ф}}$  – скорости счета от человека и фона соответственно, зарегистрированные в энергетическом интервале 100–3000 кэВ, имп/с.

Неопределенность в оценке величины суммарного поступления ПЯД при обследовании в сроки от 2 до 24 ч после аварии составляет 50%, если аварийная ситуация

может быть отнесена к одному из вариантов типов аварии А1–А4. При неизвестном типе аварии неопределенность не превышает двух раз [9].

Следующим этапом послеаварийного обследования на СИЧ является оперативная оценка доз облучения легких и щитовидной железы с применением радиометра РИГ-07Т.

*Экспресс-оценка поглощенной дозы облучения легких*

При характере загрязнения воздушной среды рабочего помещения, где находились пострадавшие, соответствующего аварии типа А1–А4, оценка поглощенной дозы в легких производится по следующей формуле:

$$D_{\text{легк}}, \text{мГр} = (N_{\text{чел}} - N_{\text{ф}}) \cdot K_{\text{легк}}, (2)$$

где  $K_{\text{легк}}$  – градуировочный коэффициент для различных сроков обследования, мГр·с/имп.

Расчетные значения коэффициентов градуировки представлены в таблице 2.

Таблица 1

**Градуировочные коэффициенты для экспресс-оценки уровня суммарного поступления ПЯД по результатам СИЧ-измерения при наличии априорной информации о характере аварии [9]**

[Table 1]

**Calibration coefficients for the express assessment of the level of the total incorporation of the products of the nuclear fission based on the results of the SICh measurement based on the priory information of the type of the accident]**

| Время обследования, ч<br>[Time of the assessment,<br>hour] | Значения градуировочных коэффициентов $K_{\text{гр}}$ , МБк·с/имп,<br>в зависимости от типа аварии<br>[Values of the calibration coefficients, Kgr, MBk*s/counts, based on the type of an accident] |     |     |      |
|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|------|
|                                                            | A1                                                                                                                                                                                                  | A2  | A3  | A4   |
| 2                                                          | 10                                                                                                                                                                                                  | 0,4 | 9   | 0,24 |
| 3                                                          | 30                                                                                                                                                                                                  | 0,6 | 15  | 0,25 |
| 5                                                          | 90                                                                                                                                                                                                  | 1,0 | 25  | 0,26 |
| 7                                                          | 125                                                                                                                                                                                                 | 1,5 | 33  | 0,27 |
| 10                                                         | 160                                                                                                                                                                                                 | 1,9 | 52  | 0,28 |
| 15                                                         | 240                                                                                                                                                                                                 | 2,7 | 105 | 0,31 |
| 20                                                         | 360                                                                                                                                                                                                 | 3,7 | 220 | 0,34 |
| 24                                                         | 400                                                                                                                                                                                                 | 4,8 | 370 | 0,37 |

Таблица 2

**Градуировочные коэффициенты для экспресс-оценки поглощенной в легких дозы по результатам СИЧ-измерения при наличии априорной информации о характере аварии [9]**

[Table 2]

**Calibration coefficients for the express assessment of the absorbed dose in the lungs based on the results of the SICh measurement based on the priory information of the type of an accident]**

| Время обследования, ч<br>[Time of the assessment,<br>hour] | Значения градуировочных коэффициентов $K_{\text{гр}}$ , мГр·с/имп,<br>в зависимости от типа аварии<br>[Values of the calibration coefficients, Kgr, mGy*s/counts, based on the type of an accident] |       |     |     |
|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-----|-----|
|                                                            | A1                                                                                                                                                                                                  | A2    | A3  | A4  |
| 2                                                          | 0,3                                                                                                                                                                                                 | 0,045 | 17  | 3,7 |
| 3                                                          | 0,8                                                                                                                                                                                                 | 0,07  | 25  | 4,2 |
| 5                                                          | 2,2                                                                                                                                                                                                 | 0,1   | 50  | 4,5 |
| 7                                                          | 3,7                                                                                                                                                                                                 | 0,17  | 80  | 4,8 |
| 10                                                         | 7                                                                                                                                                                                                   | 0,3   | 170 | 5,1 |
| 15                                                         | 10                                                                                                                                                                                                  | 0,5   | 350 | 6,5 |
| 20                                                         | 17                                                                                                                                                                                                  | 0,85  | 550 | 7,1 |
| 24                                                         | 25                                                                                                                                                                                                  | 1,1   | 850 | 7,5 |

При измерении содержания радионуклидов в легких обследуемый находится в положении сидя, при этом детектор направлен на правое легкое и отстоит от поверхности тела человека на 20 см.

Измерения излучения от легких должны быть выполнены в сроки спустя 2–3 ч, но не позже 15 ч после инкорпорации. Неопределенность в оценке дозы не более 50%, если аварийная ситуация относится к одному из типов А1–А4 [9].

#### *Экспресс-оценка поглощенной дозы в щитовидной железе*

В случае аварии на ЯЭУ возможно поступление в организм смесей различных радионуклидов йода и их радиоактивных изобарических предшественников – нуклидов теллура и сурьмы. Обследование пострадавших должно быть выполнено в течение не более 2 суток, иначе информация о дозе облучения щитовидной железы за счет короткоживущих радионуклидов йода будет потеряна. При измерении содержания радионуклидов в щитовидной железе детектор устанавливается под углом 30°, при этом расстояние от шеи обследуемого до детектора составляет 20 см. Алгоритм оценки поглощенной дозы основан на регистрации гамма-излучения в двух энергетических интервалах: 300–580 кэВ и 600–800 кэВ. Поглощенная доза рассчитывается по формуле:

$$D_{\text{щж}}, \text{мГр} = K_{\text{попр}} \cdot N_1 \cdot K_{\text{щж}}, \quad (3)$$

Зависимость градуировочного коэффициента  $K_{\text{щж}}$  от времени обследования при измерении в сроки спустя  $t = 2\text{--}48$  ч после аварийного поступления аппроксимируется следующей формулой [9]:

$$K_{\text{щж}}, \text{мГр}\cdot\text{с}/\text{имп} = 14 \cdot t^{0,25} + 16,5 \cdot t^{-1} \quad (4)$$

Поправочная функция  $K_{\text{попр}}$ , учитывающая изменение нуклидного состава инкорпорированной смеси и коррелирующая с изменением отношения скоростей счета, регистрируемых в 1-м и 2-м энергетических интервалах, аппроксимируется формулой:

$$K_{\text{попр}} = 6,3 \cdot a^2 - 5,7 \cdot a + 1,3, \quad (5)$$

$$\text{где } a = N_2/N_1,$$

$N_1 = N_{1\text{щж}} - N_{1\text{пр}}$  и  $N_2 = N_{2\text{щж}} - N_{2\text{пр}}$  – скорости счета (имп/с), регистрируемые от области шеи обследуемого в 1-м и 2-м энергетических интервалах за вычетом скоростей счета, регистрируемых от области предплечья, соответственно.

Измерение скоростей счета от области предплечья необходимо, поскольку позволяет учесть не только внешний гамма-фон и его экранировку шеей обследуемого, но в какой-то степени и вклад «мешающего» излучения от радионуклидов йода, находящихся в крови, поскольку при измерении гамма-излучения от щитовидной железы в поле чувствительности коллимированного детектора попадают также и находящиеся в области шеи кровеносные сосуды.

В указанные сроки обследования после аварийной инкорпорации неопределенность в оценке поглощенной в щитовидной железе дозы составляет 30% вне зависимости от соотношения в инкорпорированной смеси радионуклидов йода и их радиоактивных изобарических предшественников – радионуклидов теллура и сурьмы [9].

Таким образом, предлагаемая схема основных мероприятий при осуществлении послеаварийного индивидуального контроля внутреннего облучения персонала судов с ЯЭУ выглядит следующим образом (табл. 3).

Таблица 3

#### **Время, цели и методы проведения послеаварийного контроля внутреннего облучения**

[Table 3]

#### **Time, goals and methods of the post-accident control of the internal exposure]**

| Этап<br>[Stage] | Время после аварии<br>[Time after the accident] | Цель<br>[Goal]                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Метод получения информации<br>[Method of obtaining the information]                                                                                                                                                      |
|-----------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| I               | 3–5÷7 ч<br>[3–5÷7 hours]                        | Установление факта инкорпорации гамма-излучающих радионуклидов и выявление лиц, подлежащих дальнейшему обследованию<br>[Confirmation of the incorporation of the gamma-emitting radionuclides. Detection of the individuals for the further examination]                                           | Определение скорости счета выше контрольного уровня методом радиометрии всего тела с помощью радиометра типа РИГ-07Т<br>[Estimation of the counting speed above the control level using the RIG-07T type radiometer]     |
| II              | 5–10÷12 ч<br>[5–10÷12 Hours]                    | Оценка уровня суммарного поступления радионуклидов в организм<br>[Assessment of the level of the total radionuclide intake into the body]                                                                                                                                                          | Радиометрия всего тела с помощью радиометра типа РИГ-07Т<br>[Whole body radiometry using the RIG-07T type radiometer]                                                                                                    |
| III             | 2–24 ч<br>[2–24 Hours]                          | Оценка поглощенных доз в легких и щитовидной железе<br>[Assessment of the absorbed doses in lungs and thyroid]                                                                                                                                                                                     | Радиометрия гамма-излучающих радионуклидов в легких и щитовидной железе с помощью радиометра типа РИГ-07Т<br>[Radiometry of the gamma-emitting radionuclides in the lungs and thyroid using the RIG-07T type radiometer] |
| IV              | Более 2 сут<br>[more than 2 days]               | Исследование активности и распределения по органам долгоживущих и медленно выводящихся радионуклидов, оценка доз внутреннего облучения<br>[Evaluation of the activity and organ distribution of the long-lived and slowly releasing radionuclides, assessment of the doses from internal exposure] | Гамма-спектрометрия излучения всего тела и органов с помощью высокочувствительного СИЧ<br>[Gamma-spectrometry of the whole body and organs using a highly sensitive whole body counter]                                  |

## Выводы

1. Экспресс-оценка уровня суммарного поступления радионуклидов в организм человека при радиационной аварии на кораблях ВМФ производится на основании измерений гамма-излучения от всего тела человека, проведенных в сроки спустя 5–7 ч и 10–12 ч после аварийного поступления, что позволяет выделить группу лиц, не подвергшихся инкорпорации, и лиц, у которых определено поступление в организм радиоактивных веществ и требующих углубленного обследования, в том числе спектрометрического, и лечения (деконтаминации) в специализированном лечебно-профилактическом учреждении.

2. С целью выработки программы лечебных мероприятий в течение первых суток с помощью радиометра типа РИГ-07Т проводятся измерения скорости счета, а затем оценки поглощенных доз в отдельных критических органах: в легких как основном органе на пути поступления радионуклидов при авариях и в щитовидной железе, в высокой степени депонирующей радионуклиды йода и являющиеся одним из ведущих факторов внутреннего облучения в аварийных ситуациях.

3. На стадии госпитализации и лечения облученных лиц в специализированной клинике (центре), т.е. в сроки более 2 сут, с помощью высокочувствительного СИЧ проводится гамма-спектрометрический анализ инкорпорированной активности с целью исследования содержания радионуклидов в организме, распределения их по органам и тканям, контроля выведения из организма и эффективности лечения, оценки дозы внутреннего облучения.

## Литература

1. Обоснование методов оценки ближайших последствий облучения личного состава кораблей ВМФ при авариях

ЯЭУ / Отчет о НИР, шифр «Радиолог». – СПб.: ЦНИИМО РФ, 2002. – 97 с.

2. Рекомендации по послеаварийной оценке начального поступления, дозы на легкие и щитовидную железу по данным экспресс-радиометрии приборами РИГ-02С и ДАК-1. – Л.: НИИ ГМТ, 1989. – 25 с.
3. Оценка в соответствии с требованиями НРБ-99/2009 уровней радиационного воздействия на население, проживающее в зоне наблюдения, при возможных авариях на предприятиях, осуществляющих утилизацию кораблей и судов с ядерными энергетическими установками (Головной филиал «СРЗ «НЕРПА» ОАО «ЦС «ЗВЕЗДОЧКА») / Отчет о НИР. – СПб.: ФГУП НИИ ПММ, 2010. – 100 с.
4. Сивинцев, Ю.В. Радиоэкологические последствия радиационной аварии на атомной подводной лодке в бухте Чажма / Ю.В. Сивинцев, В.Л. Высоцкий, В.А. Данилян // Атомная энергия. – 1994. – Т. 76, Вып. 2. – С. 158-160.
5. Международная шкала оценки опасности событий на АЭС // Атомная энергия. – 1991. – Т. 70, Вып. 1. – С. 3-8.
6. Катков, А.Е. Радиоэкологическая аргументация последствий воздействия аварии на Чернобыльской АЭС на состояние здоровья участников ее ликвидации (Сообщения 1 и 2) / А.Е. Катков, Э.Н. Кабишев, С.А. Бобров, В.А. Тарита, А.С. Титов // Ликвидаторы последствий аварии на ЧАЭС. – 1995. – С. 33-46.
7. Радиометр активности гамма-излучающих радионуклидов РИГ-07Т. – СПб.: НИИ ПММ, 2004. – 21 с.
8. Комплекс спектрометров излучений человека СИЧ-Э. – СПб.: ООО НТЦ «Радэк», 2008. – 42 с.
9. Алгоритмы экспресс-радиометрического контроля внутреннего облучения при авариях на ядерных энергетических установках радиометром РИГ-07Т. – СПб.: НИИ ПММ, 2004. – 10 с.

Поступила: 21.08.2018 г.

**Фирсанов Владимир Борисович** – ведущий электроник научно-исследовательской лаборатории спектрометрии излучений человека Всероссийского центра экстренной и радиационной медицины имени А.М. Никифорова Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий. **Адрес для переписки:** 194044, Россия, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 4/2; E-mail: sich@arcerm.spb.ru

**Тарита Вольдемар Андреевич** – кандидат медицинских наук, доцент, заведующий – ведущий научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории спектрометрии излучений человека Всероссийского центра экстренной и радиационной медицины имени А.М. Никифорова Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Санкт-Петербург, Россия

**Арефьева Дарья Владимировна** – научный сотрудник научно-исследовательской испытательной лаборатории проблем радиационной безопасности Научно-исследовательского института промышленной и морской медицины, Санкт-Петербург, Россия

**Брук Геннадий Янкелевич** – заведующий лабораторией внутреннего 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, Санкт-Петербург, Россия

**Яковлев Вячеслав Арсентьевич** – научный сотрудник лаборатории внутреннего 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, Санкт-Петербург, Россия

**Для цитирования:** Фирсанов В.Б., Тарита В.А., Арефьева Д.В., Брук Г.Я., Яковлев В.А. Послеаварийный контроль внутреннего облучения при радиационных авариях на кораблях и судах с ядерными энергетическими установками: задачи и аппаратно-методическое обеспечение // Радиационная гигиена. – 2018. – Т. 11, № 4. – С. 64-70. DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-4 -64-70

## Internal irradiation control after radiation accidents on ships and vessels with nuclear power units: tasks and hardware-methodical support

Vladimir B. Firsanov<sup>1</sup>, Voldemar A. Tarita<sup>1</sup>, Darya V. Arefyeva<sup>2</sup>, Gennadiy Ya. Bruk<sup>3</sup>, Vyacheslav A. Yakovlev<sup>3</sup>

<sup>1</sup> The Nikiforov Russian Center of Emergency and Radiation Medicine EMERCOM of Russia, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Research Institute of Industrial and Maritime Medicine, St. Petersburg, Russia

<sup>3</sup> Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, St. Petersburg, Russia

*In the case of radiation accident on a board of ships and vessels with nuclear power units, radioactive substances can be released into the environment and absorbed by the human body. The radioactive contamination is associated with a complex and rapidly disintegrating composition of radionuclides, which are products of nuclear fission and induced radioactivity. Therefore, the need for prompt post-accident control of internal exposure is justified. In the article, radiation accidents are classified in relation to ships and vessels with nuclear power units. As an example, one of the most severe accidents that occurred when nuclear fuel was transshipped on a nuclear-powered submarine in the Chazhma Bay in 1985 is considered. Methods for determining the incorporated radioactivity are described. Direct measurement of radionuclide content in a human body or an organ using human radiation spectrometers is shown to be the most accurate. The hardware-methodical support and the main measures for the post-emergency individual control of the internal exposure of personnel of vessels with nuclear power plants are proposed.*

**Key words:** radiation accident, nuclear power unit, internal irradiation, radionuclide, human radiation spectrometer.

### References

1. Justification of the methods of the assessment of the close consequences of the exposure of the man power of the navy ships from the nuclear power plant accidents. Report on the scientific-research project, code "Radiolog". St.Petersburg, Central scientific-research institute of the Ministry of Defense of the Russian Federation, 2002, 97 p. (In Russian)
2. Recommendations on the post-accident assessment of the initial intake, dose in the lung and thyroid based on the express radiometry methods with RIG-02C and DAK-1. Leningrad, NII GMT, 1989, 25 p. (In Russian)
3. Assessment of the compliance to the NRB 99/2009 requirements of the levels of radiation exposure to the public residing in the surveillance zone from the possible accidents on the facilities disposing the ships and vessels with nuclear power plants (Head branch of the "SRZ NERPA" JSC "CZ ZVEZDOCHKA"). Report on the scientific-research project. – St.Petersburg, FGUP NII PMM, 2010, 100 p. (In Russian)
4. Sivintsev Yu.V., Vysotsky V.L., Danilyan V.A. Radiological consequences of the radiation accident at Chazhma bay. Atomic energy, 1994, Vol. 76, Issue 2, pp. 158-160. (In Russian)
5. International scale of the assessment of the hazard of the NPP accidents. Atomnaya energiya = Atomic energy, 1991, Vol. 70, Issue 1, pp. 3-8. (In Russian)
6. Katkov A.E., Kabishev E.N., Bobrov S.A., Tarita V.A., Titov A.S. Radioecological arguments of the consequences of the Chernobyl NPP impact on the health of the liquidators (Reports 1 and 2). Liquidators of the Chernobyl NPP consequences, 1995, pp. 33-46. (In Russian)
7. Radiometer of the activity of the gamma-emitting radionuclides RIG-07T. St.Petersburg, NII PMM, 2004, 21 p. (In Russian)
8. Complex of the spectrometers of the human exposure SICH-E. St.Petersburg, JSC NTC "Radek", 2008, 42 p. (In Russian)
9. Algorithms of the express-radiometric control of the internal exposure for the accidents on the nuclear power plants using radiometer RIG-07T. St.Petersburg, NII PMM, 2004, 10 p. (In Russian)

Received: August 21, 2018

**For correspondence: Vladimir B. Firsanov** – Chief electronic engineer of the scientific-research laboratory of the spectrometry of the human exposure of the Nikiforov Russian Center of Emergency and Radiation Medicine EMERCOM of Russia (Akademika Lebedeva str., 4/2, St.Petersburg, 194044, Russia; E-mail: sich@arcern.spb.ru)

**Voldemar A. Tarita** – MD, docent, head – leading scientist of the scientific-research laboratory of the spectrometry of the human exposure of the Nikiforov Russian Center of Emergency and Radiation Medicine EMERCOM of Russia, St.Petersburg, Russia

**Darya V. Arefyeva** – Scientist of the scientific-research test laboratory of the problems of the radiation safety, Research Institute of Industrial and Maritime Medicine, St.Petersburg, Russia

**Gennadiy Ya. Bruk** – Head of the Internal Exposure 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, St.Petersburg, Russia

**Vyacheslav A. Yakovlev** – Researcher, Internal Exposure Laboratory, 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, St.Petersburg, Russia

**For citation: Firsanov V.B., Tarita V.A., Arefyeva D.V., Bruk G.Ya., Yakovlev V.A. Internal irradiation control after radiation accidents on ships and vessels with nuclear power units: tasks and hardware-methodical support. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene, 2018, Vol. 11, No. 4, pp. 64-70. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-4-64-70**

**Vladimir B. Firsanov**

The Nikiforov Russian Center of Emergency and Radiation Medicine

**Address for correspondence:** Akademika Lebedeva str., 4/2, St.Petersburg, 194044, Russia; E-mail: sich@arcern.spb.ru

# Клинико–морфологические особенности патологии верхних отделов пищеварительной системы у жителей, постоянно проживающих на радиоактивно загрязненных территориях

С.В. Дударенко<sup>1</sup>, А.В. Рожко<sup>2</sup>, С.Н. Лопатин<sup>1</sup>, О.В. Леонтьев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины им. А.М. Никитина Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий России, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Республиканский научно-практический центр радиационной медицины и экологии человека, Гомель, Республика Беларусь

*Целью исследования является изучение и оценка клинико-морфологических характеристик патологии верхних отделов пищеварительной системы у населения радиоактивно загрязненных территорий в ближайший и отдаленный после аварии на Чернобыльской АЭС периоды наблюдения. Методы: фиброгастродуоденоскопия, цитологическое исследование гастробиоптатов, микроядерный тест, дозиметрическая оценка гастробиоптатов. Для решения вопросов о взаимосвязи факторов аварии на Чернобыльской АЭС и состояния слизистой оболочки верхних отделов пищеварительного тракта проведена медико-статистическая оценка зависимостей частоты патологии верхних отделов желудочно-кишечного тракта и экологических факторов аварии в ближайший и отдаленный период. Результаты: установлено, что основными морфологическими типами, описывающими состояние слизистой желудка и двенадцатиперстной кишки у обследованных, являются: эрозивные, атрофические, фиброзные изменения на фоне инфицирования *Нр*, а также развитие воспалительно-клеточной инфильтрации. Частота встречаемости микроядер в мукоцитах слизистой оболочки не зависит от частоты инфицирования *Helicobacter pylori*, а также суммарной альфа- и бета-активности биоптатов слизистой оболочки желудка, плотности загрязнения территории по <sup>90</sup>Sr и <sup>137</sup>Cs. Взаимосвязь между частотой гастродуоденальной патологии и уровнями загрязненности территории постоянного проживания по <sup>90</sup>Sr и <sup>137</sup>Cs, а также статистические закономерности оценки суммарной альфа- и бета-активности гастробиоптатов у жителей радиоактивно загрязненных территорий за длительный период наблюдения не являются статистически значимыми. Выводы: характер и клиническая картина патологии верхних отделов пищеварительного тракта, динамика течения патологического процесса от воспалительно-дистрофических до атрофических изменений слизистой оболочки желудка, отсутствие связи указанной патологии с показателями экологического неблагополучия по изотопному составу территорий свидетельствуют о том, что причиной вышеуказанных закономерностей может являться действие комплекса факторов аварии на Чернобыльской АЭС.*

**Ключевые слова:** микроядра, мукоциты желудка, Чернобыльская катастрофа, население радиоактивно загрязненных территорий, *Helicobacter pylori*.

## Введение

Медицинские последствия аварии на ЧАЭС по настоящее время привлекают большое число научных исследований ввиду огромной значимости проблем безопасного проживания населения на радиоактивно загрязненных территориях (РЗТ) и изучению особенностей соматической заболеваемости у пострадавших от факторов аварии на ЧАЭС людей. К таким факторам, которые длительное время воздействуют на организм постоянно проживающего на РЗТ населения, можно отнести:

– синдром хронического адаптивного перенапряжения;

– социальные факторы и изменившиеся уклады жизни, рационы питания [9];

– инкорпорация радионуклидов в результате потребления загрязненных радионуклидами продуктов питания и воды [6, 9].

Именно поэтому в отдаленный период (1996–2015 гг.) после аварии на ЧАЭС научно-исследовательские работы по исследованию медицинских последствий радиационной катастрофы были посвящены изучению механизмов развития соматической патологии населения РЗТ и ликвидаторов аварии на ЧАЭС. Несмотря на достаточно

**Лопатин Сергей Николаевич**

Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины им. А.М. Никитина

Адрес для переписки: 194044, Россия, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 4/2; E-mail: Lopatinspb05@mail.ru

большой объем научных исследований, в настоящее время практически отсутствуют сведения о комплексной оценке состояния здоровья и механизмах развития соматической патологии (в том числе патологии верхних отделов пищеварительного тракта) у одной и той же когорты людей, постоянно проживающих в зоне радиоактивного загрязнения местности с 1986 по 2013 г. Особый интерес представляет научная оценка патологии верхних отделов пищеварительного тракта у постоянно проживающего на РЗТ населения с 1986 по 2013 г., т.к. одним из основных путей инкорпорации радионуклидов в организм является их поступление через пищеварительный тракт.

**Цель исследования** – изучение и оценка клинико-морфологических характеристик патологии верхних отделов пищеварительной системы у населения РЗТ в ближайший и отдаленный после аварии на ЧАЭС периоды наблюдения.

Нами были поставлены следующие задачи: оценить динамику заболеваемости по основным заболеваниям класса болезней органов пищеварительной системы (в том числе по онкопатологии желудка) у населения, проживающего на РЗТ в зоне с правом на отселение; изучить клинические и эндоскопические особенности патологии слизистой верхних отделов пищеварительного тракта у населения, проживающего на РЗТ; оценить взаимосвязь морфологических особенностей состояния слизистой оболочки желудка и уровней загрязненности территории постоянного проживания, а также инфицированности слизистой оболочки желудка *Helicobacter pylori* у населения, постоянно проживающего на РЗТ; оценить взаимосвязи факторов аварии на ЧАЭС и частоты патологии верхних отделов ЖКТ у обследованных на РЗТ в 1988–1993 гг. и через 25 лет после аварии на ЧАЭС.

### Материалы и методы

Для решения поставленных целей и задач нашего исследования разработана формализованная карта по оценке основных жалоб больных, а также применялись следующие инструментальные и цитологические методы: фиброгастродуоденоскопия с взятием биопсии; цитологическое исследование гастробиоптатов (окраска гематоксилин-эозином и иммуноцитохимический метод выявления H<sub>p</sub>), дозиметрическая оценка гастробиоптатов у лиц, постоянно проживающих на радиоактивно-загрязненных территориях с момента аварии на ЧАЭС. Радиометрические исследования биоптатов проводились после их сушки, взвешивания, а затем гомогенизации концентрированным раствором азотной кислоты в термостате в течение 1 мин. Количество β-распадов регистрировалось на альфа-бета радиометре (УМФ-2000, Россия). Радиометрия биоптатов проводилась в ФБУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева», за единицу измерения принималась бета-активность в Бк/пробе.

Для решения вопросов о взаимосвязи факторов аварии на ЧАЭС и состояния слизистой оболочки верхних отделов пищеварительного тракта проведена медико-статистическая оценка зависимостей частоты патологии верхних отделов желудочно-кишечного тракта и экологических факторов аварии у лиц, постоянно проживающих на радиоактивно за-

грязненных территориях с момента аварии на ЧАЭС в ближайший и отдаленный после аварии периоды. Полученные количественные результаты обрабатывали с помощью пакетов прикладных программ Microsoft Excel, Statistica 6.0. Оценка нормальности распределения признаков проводилась с помощью критерия Шапиро – Уилка. Для сравнительной характеристики признаков использованы непараметрические методы исследования: сравнение двух независимых выборок и U-критерий Манна – Уитни. За уровень статистической значимости принимался  $p < 0,05$ . При представлении числовых значений использована средняя (M), стандартное отклонение (SD). За уровень статистической значимости принимался  $p < 0,05$ .

Взаимосвязь между показателями определялась методом непараметрического корреляционного анализа с определением коэффициента Спирмена.

Исследование проводилось в группе больных, постоянно проживающих (с момента аварии на ЧАЭС) в Хойникском районе Гомельской области Республики Беларусь и проходивших обследование на базе Центральной районной больницы (г. Хойники, Беларусь), а также в Республиканском научно-практическом центре радиоактивной медицины и экологии человека (г. Гомель). Все пациенты обследованы в 1988–1992 гг. (через 2–6 лет после аварии на ЧАЭС) и в 2013 г. (через 27 лет непрерывного проживания на РЗТ).

Плотность загрязнения, по данным Гидромета Республики Беларусь, за период проведения нашего исследования на указанных выше РЗТ (г. Хойники) после аварии на ЧАЭС менялась. Если в 1992 г. она составляла по  $^{137}\text{Cs}$  – 7,67 Ки/км<sup>2</sup>,  $^{90}\text{Sr}$  – 1,05 Ки/км<sup>2</sup>, то в 2013 г. данные параметры снизились (по  $^{137}\text{Cs}$  – 2,3 Ки/км<sup>2</sup>, по  $^{90}\text{Sr}$  – 0,5 Ки/км<sup>2</sup>) [7].

Нами проанализированы амбулаторные карты 13 448 пациентов, обследованных с 1988 по 1992 г. (6148 мужчин и 7300 женщин). Для анализа были использованы данные о заболеваемости, факторах радиоактивного загрязнения местности, а также результаты обследования верхних отделов пищеварительного тракта при ФГДС. Из данной группы обследуемых (с 1988 по 1992 гг.) были отобраны для ретроспективного анализа биоптаты слизистой оболочки желудка и двенадцатиперстной кишки у 50 человек (22 мужчины и 28 женщин). В 2013 г. из числа жителей того же региона нами обследовано 60 человек (женщин было 25, а мужчин – 35). Средний возраст мужчин в когорте обследованных в 1988–1992 гг. был 30,3 года, женщин – 32,3 года, а в когорте обследованных жителей через 27 лет после аварии на ЧАЭС – 56,3 и 59,2 года соответственно. В нашей работе использованы данные медико-статистических отчетов по заболеваемости в 2012–2013 гг. территориальных органов здравоохранения по г. Хойники и Хойникскому району Беларуси.

Основная масса обследованного населения практически безвыездно проживала на радиоактивно загрязненных территориях. Характер питания обследованных, проживающих на территории с повышенным уровнем загрязненности местности, был смешанный. В основном они употребляли в пищу привозные продукты питания из экологически чистых районов в сочетании с продуктами приусадебных хозяйств, употреблением лесных грибов и ягод, а также мяса диких животных, птиц и рыбы из местных водоемов.

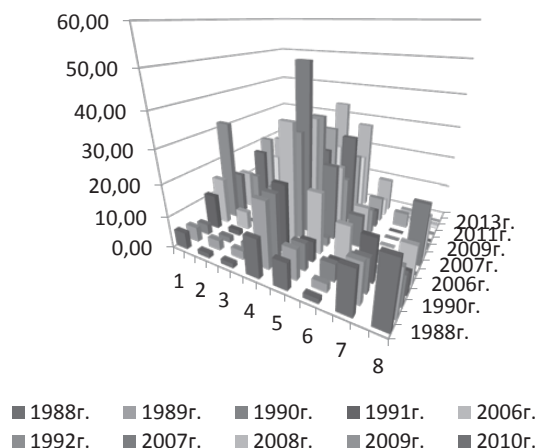
## Результаты и обсуждение

В ходе нашего исследования установлено, что патология органов пищеварения у жителей РЗТ спустя 25 лет после аварии на ЧАЭС занимает третье место по первичной заболеваемости, уступая лишь заболеваниям системы органов дыхания и болезням сердечно-сосудистой системы. В отдаленный после аварии на ЧАЭС период изменилась структура заболеваемости населения РЗТ. В 1988–1992 гг. структура первичной заболеваемости населения РЗТ (Хойникский район, Гомельская область) распределилась следующим образом: наиболее часто отмечались болезни органов дыхания, нервной и сердечно-сосудистой систем, а класс заболеваний системы органов пищеварения находился на 4-м месте. В отдаленный после аварии на ЧАЭС период (через 25 лет) патология органов пищеварения у населения РЗТ приобрела большую актуальность и переместилась на 3-е место в структуре первичной заболеваемости, уступая болезням органов сердечно-сосудистой и дыхательной систем. По нашим данным, основанным на медико-статистических отчетах (Хойникская центральная районная больница, Республиканский научно-практический центр радиоактивной медицины и экологии человека, г. Гомель, Республика Беларусь), в период с 1998 по 2012 г. прослеживается тенденция к снижению первичной заболеваемости по классу заболеваний сердечно-сосудистой, эндокринной систем у населения РЗТ. Практически на одном уровне находилась в вышеуказанный период первичная заболеваемость по классу заболеваний нервной и дыхательной систем. Если с 1988 г. по 2008 г. заболеваемость по классу болезней системы пищеварения имела тенденцию к росту, то с 2008 г. по 2012 г. происходит снижение частоты данной патологии до уровня значений 1998 г. Таким образом, можно сделать вывод о том, что частота класса заболеваний системы органов пищеварения занимает одно из лидирующих мест в структуре соматической патологии жителей РЗТ как в ближайший, так и в отдаленный после аварии на ЧАЭС период.

Клиническая картина патологии верхних отделов пищеварительного тракта в первые годы после аварии на ЧАЭС и 25 лет спустя существенно не отличается. Жалобы на состояние здоровья обследованных нами жителей РЗТ были в основном представлены болевым, диспепсическим и астеновегетативным синдромами. При этом за период с 1988 по 1992 г. и спустя 25 лет (в 2013 г.) не изменился по частоте выявления болевой синдром и его характер. В то же время возросла (с 55% до 82%) частота проявлений диспепсического синдрома в виде тошноты, изжоги, отрыжки за указанный выше период наблюдений. Несмотря на указанные небольшие отличия, болевой и диспепсический синдромы были приблизительно одинаковы по частоте встречаемости у обследуемого населения РЗТ в 1988–1992 гг. и 2012–2013 гг.

Как известно, ФГДС является доказательным критерием оценки характера патологии верхних отделов пищеварительного тракта. Мы проводили данные исследования с последующей статистической обработкой результатов (протоколов) эндоскопических исследований в 1988–1992 гг. и в 2006–2013 гг. у жителей РЗТ (рис. 1). По нашим данным, общая частота гастродуоденальной патологии при ФГДС у обследуемых на РЗТ в сравнении с частотой у обследуемых, проживающих в

«чистых» районах (Петриковский и Октябрьский районы Гомельской области), за период наблюдения с 2006 по 2013 г. статистически значимых различий не имела. Исключение составляла частота диагностики атрофических изменений слизистой оболочки желудка у обследованных: на РЗТ в период с 2006 по 2013 г. указанный показатель составлял 14,14% числа обследованных, а у населения в «чистых» районах проживания – 2,98%. На основании указанных фактов можно заключить, что при непрерывном (25 лет) проживания на РЗТ у населения возрастает частота атрофических изменений слизистой оболочки желудка.



**Рис. 1.** Распределение частоты эндоскопических диагнозов по годам исследований (Хойникский район, Гомельская область): 1 – атрофический гастрит, 2 – полип желудка, 3 – рак желудка, 4 – дуоденит, 5 – эрозивный гастрит, 6 – рефлюкс-эзофагит 1 степени, 7 – язва ЛДПК, 8 – гипертрофический гастрит желудка

[Fig. 1. Distribution of the endoscopic diagnoses by the years of examinations (the Hoiniki district, the Gomel region): 1 – atrophic gastritis, 2 – gastric polyp, 3 – stomach cancer, 4 – duodenitis, 5 – erosive gastritis, 6 – esophageal reflux, 7 – ulcer of the thin intestine, 8 – hypertrophic gastritis]

На сегодняшний день одной из основных причин развития атрофических изменений слизистой оболочки желудка является Нр-инфекция. Наши данные свидетельствуют о том, что частота диагностики Нр-инфекции в указанных районах (условно говоря, «чистых» и «загрязненных радионуклидами») Гомельской области была равной (58,3% и 56,0% соответственно). При этом частота диагностики атрофических изменений слизистой оболочки желудка в регионах с радиоактивно загрязненной территорией возрастает. С учетом доказанных в научной медицинской литературе фактов о роли Нр в возникновении атрофических изменений в СОЖ, становится сомнительным факт определяющей роли Нр в возрастании частоты атрофических изменений СОЖ у жителей РЗТ в отдаленный период после аварии на ЧАЭС.

По данным радиометрии территорий постоянного проживания обследованного контингента за годы, прошедшие после аварии на ЧАЭС, отмечается снижение уровня загрязненности по  $^{137}\text{Cs}$  с 7,67 Ки/км<sup>2</sup> в 1992 г. и до 2,3 Ки/км<sup>2</sup> в 2013 г. Одновременно нами выявлена тенденция (с 1992 по

2013 г.) к снижению частоты диагностики рака желудка (с 2,05% до 0,52%), гипертрофических изменений слизистой оболочки желудка (с 10,94% до 5,93%), язвенной болезни двенадцатиперстной кишки (с 11,82% до 1,05%) у жителей, постоянно проживающих на РЗТ. Несмотря на указанные выше закономерности, на прежнем уровне за период наблюдений остаётся частота выявления поверхностных изменений и язвенных поражений слизистой оболочки желудка, дуоденогастрального рефлюкса.

В настоящее время доказан факт, что атрофические изменения слизистой оболочки являются предиктором развития как злокачественных, так и доброкачественных трансформаций [1, 2, 4]. Наши исследования позволили установить, что на фоне роста частоты атрофии СОЖ (подтвержденные гистологическими исследованиями) у жителей РЗТ определяется тенденция к возрастанию (с 2,1% до 5,4%) частоты обнаружения полиповидных изменений слизистой оболочки желудка. Кроме того, за период наблюдения у жителей РЗТ отмечается рост частоты воспалительных изменений слизистой оболочки двенадцатиперстной кишки (с 12,3% до 34,3%), эрозивных изменений слизистой оболочки желудка (с 8,4% до 28,4%), эзофагитов различной степени выраженности (с 3,7% до 8,7%). Таким образом, можно констатировать факт роста частоты обнаружения атрофических, полиповидных, воспалительных и эрозивных изменений слизистой оболочки желудка у жителей, постоянно проживающих на РЗТ.

Помимо указанной закономерности, практически на одном уровне остается частота обнаружения неизменной слизистой оболочки гастродуоденальной зоны при выполнении ФГДС у населения РЗТ (0,4% и 1,7% соответственно) и «чистых» районов (Петриковский и Октябрьский районы Гомельской области – около 2,7%) в период с 1988 по 2013 г.

Таким образом, в результате проведенного нами анализа статистических отчетов по первичной заболеваемо-

сти и данных протоколов ФГДС у обследуемых жителей РЗТ можно заключить, что в отдаленный после аварии на ЧАЭС период (25 лет) у населения, постоянно проживающего на РЗТ, отмечаются следующие закономерности в первичной заболеваемости верхних отделов пищеварительного тракта:

- умеренный рост атрофических, полиповидных и эрозивно-воспалительных изменений слизистой оболочки желудка и двенадцатиперстной кишки;
- снижение частоты диагностики рака желудка, гипертрофических изменений СОЖ и язвенной болезни двенадцатиперстной кишки;
- неизменная частота диагностики язвенной болезни желудка и рака пищевода.

При решении поставленных в исследовании задач по оценке влияния факторов аварии на ЧАЭС на здоровье населения РЗТ нами была проведена оценка частоты распространенности гастродуоденальной патологии во взаимосвязи с уровнем загрязненности территории постоянного проживания по  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$ . С этой целью нами проведена оценка суммарной альфа- и бета-активности гастробиоптатов, полученных при ФГДС у обследованного контингента на РЗТ в 2012–2013 гг. В качестве контрольной группы мы использовали гастробиоптаты, полученные при выполнении ФГДС у жителей Северо-Западного федерального округа РФ в те же годы наблюдения.

Результаты проведенного анализа данных радиометрии биоптатов, обследованных на РЗТ в период с 2012 по 2013 г., представлены в таблице 1.

Как следует из данных таблицы 1, среднее число  $\beta$ -распадов в биоптатах в 2013 г. в группах обследованных статистически значимо не различалось. Обращает на себя внимание статистически незначимое повышение значений  $\beta$ -распадов в биоптатах у жителей РЗТ в 2013 г. Однако и в 1992 г. (табл. 2) прослеживалась такая же закономерность. Сравнивая между собой результаты радиометрии биоптатов жителей РЗТ в 1992 и 2013 гг., можно

**Средний показатель  $\beta$ -распадов в биоптатах у обследованных в период с 2012 по 2013 г.**

Таблица 1

[Table 1]

**Mean value of  $\beta$ -decays in the biopsy samples examined in 2012-2013]**

| Группы обследованных в 2013 г.<br>[Samples examined in 2013]                          | Средние величины $\beta$ -активности в пробе<br>[Mean values of $\beta$ -activity in samples] | Достоверность различий (p)<br>[Significance (p)] |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Жители РЗТ (n=18)<br>[Residents of the radioactively contaminated territories (n=18)] | 0,034±0,006 Бк                                                                                | p> 0,05                                          |
| Контрольная группа (n=7)<br>[Control sample (n=7)]                                    | 0,027±0,016 Бк                                                                                | p> 0,05                                          |

**Средний показатель  $\beta$ -распадов в биоптатах у обследованных в 1992 г.**

Таблица 2

[Table 2]

**Mean value of  $\beta$ -decays in the biopsy samples examined in 1992]**

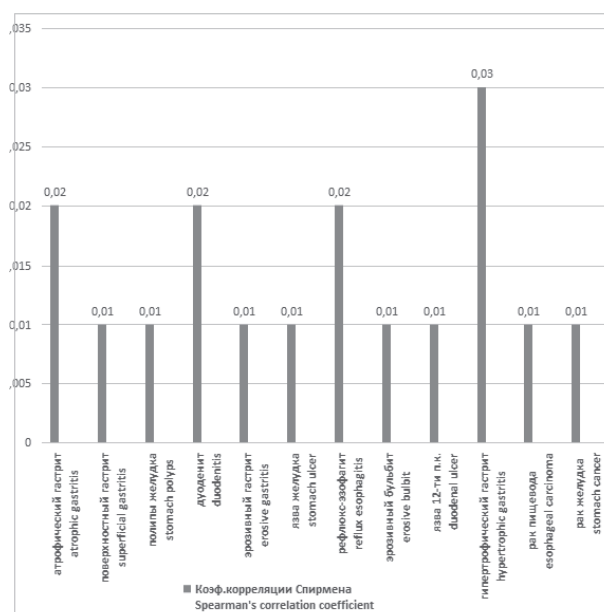
| Группы обследованных в 1992 г.<br>[Samples examined in 1992]                            | Средние величины $\beta$ -активности в пробе<br>[Mean values of $\beta$ -activity in samples] | Достоверность различий (p)<br>[Significance (p)] |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Жители РЗТ (n=100)<br>[Residents of the radioactively contaminated territories (n=100)] | 1,31±0,018 Бк                                                                                 | p> 0,05                                          |
| Контрольная группа (n=100)<br>[Control sample (n= 100)]                                 | 1,17±0,053 Бк                                                                                 | p> 0,05                                          |

отметить, что за два десятилетия после аварии на ЧАЭС отмечается статистически значимое снижение уровня бета-активности гастробиоптатов ( $p < 0,05$ ).

Таким образом, проведенная радиометрия биоптатов слизистой желудка у жителей РЗТ в 1992 и 2013 гг. позволила нам утверждать, что отсутствует факт инкорпорации радионуклидов в указанный период времени как в ранний послеаварийный период, так и через 25 лет постоянного проживания на РЗТ. Следует отметить, что территория постоянного проживания населения РЗТ все эти годы являлась экологически неблагополучной в связи с ее загрязнением в результате аварии на ЧАЭС. По всей видимости, проживание на загрязненной территории и инкорпорация радионуклидов через пищевую цепочку не взаимосвязаны, а принимаемые меры радиационной безопасности оказались достаточно эффективными.

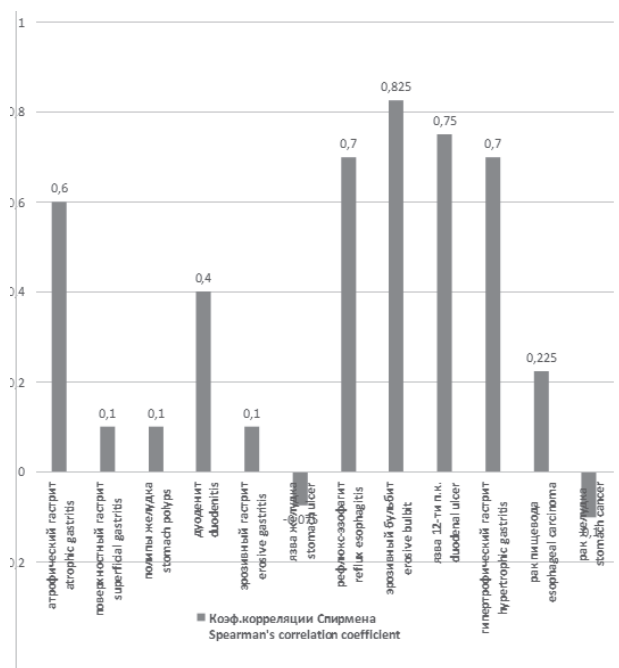
Кроме того, нами проведен статистический анализ взаимосвязей частоты патологии системы органов пищеварения и загрязненности РЗТ при постоянном проживании групп населения.

В результате проведенного исследования нами не установлена статистически значимая взаимосвязь между частотой гастродуоденальной патологии (в том числе и онкологических заболеваний верхних отделов ЖКТ) и уровнями загрязненности территории постоянного проживания по  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  за указанный период (рис. 2, 3). Установленные статистические закономерности подтверждаются результатами оценки суммарной альфа- и бета-активности гастробиоптатов у жителей РЗТ.



**Рис. 2.** Результаты корреляционного анализа взаимосвязей радиоактивности гастробиоптатов (по значениям бета-активности биоптатов) с частотой выявленной патологии по данным ФГДС; коэффициент корреляции Спирмена

[Fig. 2. The results of the correlation analysis of the relationship of radioactivity of gastrobiopats (according to the values of the beta activity of biopsy specimens) with the frequency of detected pathology according to EGD; the Spearman's coefficient of correlation]



**Рис. 3.** Результаты анализа таблиц сопряженности по величине рангового коэффициента корреляции Спирмена между частотой патологии (по данным ФГДС) и динамикой плотности загрязнения территории постоянного проживания

[Fig. 3. The results of the analysis of contingency tables by the magnitude of the rank Spearman correlation coefficient between the frequency of pathology (according to EGD) and the dynamics of the pollution density of the territory of permanent residence]

По сведениям НКАДР ООН (2000 г.), радиоактивно обусловленной патологией считается возрастание числа онкологических заболеваний у населения РЗТ, однако результаты проведенного нами исследования показывают, что первичная заболеваемость у населения РЗТ раком пищевода остается на прежнем уровне (0,6‰), а частота диагностики рака желудка имеет тенденцию к снижению спустя 25 лет после аварии на ЧАЭС (с 26,4‰ до 23,2‰). При этом необходимо отметить, что большинство обследованных нами жителей постоянно проживали на РЗТ и употребляли в пищу продукты приусадебных хозяйств и продукты местного производства (98,2% от общего количества обследуемых).

Таким образом, проведенное нами исследование позволяет сделать заключение об отсутствии значимой статистической связи между частотой патологии верхних отделов пищеварительной системы и радиационными факторами на территории постоянного проживания населения, пострадавшего от аварии на ЧАЭС. Данное заключение основывается на отсутствии зависимостей между уровнями загрязненности территории, характером питания населения (преимущественно из продуктов приусадебных хозяйств, продуктов местного производства), а также динамикой частоты патологии верхних отделов пищеварительного тракта за годы наблюдений и отсутствием статистически значимых отличий по вышеуказанным показателям в группе жителей РЗТ в сравнении с группой контроля зависимости суммарной альфа- и бета-активности гастробиоптатов и частоты.

Проведенные нами морфологические исследования констатировали у обследованных жителей РЗТ наличие процессов воспаления и расстройства трофики в слизистой оболочке желудка и двенадцатиперстной кишки. При этом группы обследованных с 1988 по 1992 г. и с 2012 по 2013 г. имели как общие морфологические изменения слизистой оболочки, так и определенные различия. Проведенная статистическая обработка результатов с помощью факторного анализа показала, что обнаруженные нами морфологические признаки описываются 2–5 основными морфологическими факторами.

В группе обследованных в период с 1988 по 1992 г. морфологические изменения слизистой тела и антрального отдела желудка были объединены в 5 факторов: изменение клеточного состава и интенсивности инфильтрации слизистой оболочки; изменение высоты слизистой; изменение слизееобразования; отечность и фиброзные изменения слизистой; эрозивные и воспалительные изменения слизистой, ассоциируемые с Нр. Слизистая двенадцатиперстной кишки в данной группе также описывается 5 факторами: отечность и фиброзные изменения слизистой, ассоциируемые с Нр; эрозивно-воспалительные изменения; изменения высоты слизистой; изменение клеточного состава и интенсивность инфильтрации слизистой оболочки; изменение слизееобразования.

В группе обследуемых на РЗТ в период с 2012 по 2013 г. по результатам факторного анализа морфологических признаков получены 3 фактора, описывающих большинство морфологических изменений слизистой оболочки: изменения высоты слизистой; состав клеточного инфильтрата и энтеролизация слизистой оболочки; эрозивный, ассоциируемый с Нр. Морфологические изменения слизистой оболочки двенадцатиперстной кишки были объединены в 2 фактора: изменения высоты слизистой и энтеролизация; состав клеточного инфильтрата и отек слизистой.

Таким образом, учитывая полученные данные морфологического исследования биоптатов слизистой оболочки желудка и двенадцатиперстной кишки и статистическую обработку полученных результатов с помощью факторного анализа, нами выделены основные морфологические факторы (типы), описывающие состояние слизистой желудка и двенадцатиперстной кишки у населения, проживающего на РЗТ. К ним относятся: эрозивные, отечные, фиброзные изменения на фоне инфицирования Нр, а также развитие воспалительно-клеточной инфильтрации. Динамика преобладающих типов морфологических изменений за длительный период после аварии на ЧАЭС свидетельствует, что на смену воспалительным изменениям слизистой оболочки (через 5–7 лет проживания на РЗТ) у одной и той же группы населения через 24–25 лет приходят атрофические типы изменения состояния слизистой оболочки желудка. Данный факт подтверждается и результатами макроскопической оценки состояния СОЖ при ФГДС (см. рис. 1).

В настоящее время известно, что наиболее частой причиной развития атрофических изменений в слизистой гастродуоденальной области является Нр-инфекция [2, 8]. Роль Нр в развитии патологии органов ЖКТ у населения радиоактивно загрязненных территорий в настоящее время до конца не изучена, так как практически не проводилось крупных научных исследований по данному

вопросу. По мнению ряда авторов, жители РЗТ с высокой кокковой обсемененностью Нр могут быть отнесены к группе повышенного онкологического риска [6]. В настоящее время доказано, что слизистая оболочка желудка, инфицированная *Helicobacter pylori*, более чувствительна к различным повреждающим воздействиям (в том числе к воздействию факторов внешней среды) по сравнению с неинфицированной СОЖ [11, 12]. В научной литературе имеются сообщения о том, что *Helicobacter pylori*-инфекция может усиливать канцерогенное действие факторов, приводящих к развитию рака верхних отделов желудочно-кишечного тракта [6]. Учитывая важную роль Нр-инфекции в развитии патологии органов ЖКТ, всем больным, проходящим комплексное обследование, проводилась диагностика Нр-инфекции. В результате проведенного нами исследования мы установили, что частота диагностики *Helicobacter pylori* у населения РЗТ в период с 1988 по 2013 г. находилась практически на одном уровне (56% в 1988 г. и 58,3% в 2013 г.). Учитывая тот факт, что в отдаленный после аварии на ЧАЭС период частота диагностики онкологической патологии верхних отделов пищеварительного тракта у жителей РЗТ (по данным национального канцер-регистра Республики Беларусь) не имеет тенденции к росту, а нами не отмечен рост частоты Нр-инфекции у обследованных, можно утверждать, что Нр-инфекция не увеличивает риск развития онкопатологии у населения через 24–25 лет постоянного проживания после аварии на ЧАЭС.

Учитывая тот факт, что в настоящее время эффекты воздействия ионизирующего излучения на организм рассматриваются с позиций не только стохастических и нестохастических эффектов радиоактивного воздействия, а также появившихся в научной литературе новых гипотез воздействия ионизирующей радиации на клетку («эффект свидетеля», радиоактивно индуцированная нестабильность генома и др.), нами предпринята попытка изучения последствий постоянного проживания на РЗТ с помощью оценки цитогенетической нестабильности в клеточных популяциях покровно-ямочного эпителия. Для решения указанной задачи мы провели оценку микроядрообразования в слизистой оболочке желудка в группах лиц, проживающих на радиоактивно загрязненных территориях через 5–7 и 24–25 лет после аварии на ЧАЭС.

## Выводы

1. Частота патологии верхних отделов пищеварительного тракта у жителей, постоянно (в течение 25 лет) проживающих на радиоактивно загрязненных после аварии на ЧАЭС территориях, имеет динамику первичной заболеваемости в отдаленном периоде в виде роста атрофических, полиповидных и эрозивно-воспалительных изменений слизистой оболочки желудка и двенадцатиперстной кишки; снижение частоты диагностики рака желудка, а также гипертрофических изменений слизистой оболочки желудка и язвенной болезни двенадцатиперстной кишки. Клиническая и макроскопическая картина патологии верхних отделов пищеварительного тракта не отличает таковую в экологически благоприятных местах постоянного проживания.

2. Основными морфологическими факторами (типами), описывающими состояние слизистой желудка и двенадцатиперстной кишки у населения, проживающего

на РЗТ, являются: эрозивные, отечные, фиброзные изменения на фоне инфицирования *Hp*, а также развитие воспалительно-клеточной инфильтрации. Динамика преобладающих типов морфологических изменений за длительный период после аварии на ЧАЭС свидетельствует о том, что на смену воспалительным изменениям слизистой оболочки (через 5–7 лет проживания на РЗТ) у одной и той же группы населения через 24–25 лет приходят атрофические типы изменения состояния слизистой оболочки желудка.

3. Взаимосвязь между частотой гастродуоденальной патологии и уровнями загрязненности территории постоянного проживания по  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$ , а также статистические закономерности оценки суммарной альфа- и бета-активностью гастробиоптатов у жителей РЗТ за длительный период наблюдения не являются статистически значимыми.

4. Характер и клиническая картина патологии верхних отделов пищеварительного тракта у постоянных жителей радиоактивно загрязненных территорий, динамика течения патологического процесса от воспалительно-дистрофических (в первые пять лет после аварии на ЧАЭС) до атрофических изменений слизистой оболочки желудка (через 25 лет после аварии на ЧАЭС), отсутствие связи указанной патологии с показателями экологического неблагополучия по изотопному составу территорий постоянного проживания свидетельствуют о том, что причиной вышеуказанных закономерностей может являться комплекс факторов аварии на ЧАЭС.

#### Литература

1. Аруин, Л.И. Пищевод Барретта и *Helicobacter pylori* / Л.И. Аруин // РЖГГК. Приложение N10. Диагностика и лечение заболеваний, ассоциированных с *Helicobacter pylori*. – 2000. – Т.10, N 2. – С. 5–9.
2. Аруин, Л.И. *Helicobacter pylori* и дисплазия слизистой оболочки желудка / Л.И. Аруин // РЖГГК. – 2001. – N 2. – С. 11–14.
3. Ильинских, Н.Н. Микроядерный анализ и цитогенетическая нестабильность / Н.Н. Ильинских, И.Н. Ильинских, В.В. Новицкий, Н.Н. Ванчугова. – Томск: изд. Томского ун-та, 1992. – 272 с.
4. Коваленко, В.Л. Морфологическая характеристика гиперпластических и аденоматозных полипов желудка / В.Л. Коваленко, Е.Л. Куренков, В.Н. Кокшаров // Архив Патологии. – 1998. – N 2. – С. 8–23.
5. Котеров, А.Н. Малые дозы ионизирующей радиации: подходы к определению диапазона и основные радиобиологические эффекты / А.Н. Котеров; под общ. ред. акад. РАМН Л.А. Ильина // В кн.: Радиационная медицина. Руководство для врачей-исследователей, организаторов здравоохранения и специалистов по радиационной безопасности. – М.: Изд. АТ, 2004. – Т. 1. Теоретические основы радиационной медицины. – С. 871–925.
6. Кравцов, В.Ю. Хеликобактериоз и мукоциты с микроядрами в слизистой оболочке желудка у ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской АЭС / В.Ю. Кравцов, Л.В. Китаева // Мед.-биол. и соц.-психол. пробл. безопасности в чрезв. ситуациях. – 2011. – N 2. – С. 84–88.
7. Кравцов, В.Ю. Микроядра в покровно-яточном эпителии желудка у лиц, проживающих на радиационно-загрязненных территориях / В.Ю. Кравцов, С.В. Дударенко, А.В. Рожко // Мед.-биол. и соц.-психол. пробл. безопасности в чрезв. ситуациях. – 2012. – N 1. – С. 72–76.
8. Маев, И.В. Кишечная метаплазия слизистой оболочки желудка в практике гастроэнтеролога: современный взгляд на проблему / И.В. Маев, О.В. Зайратьянц, Ю.А. Кучерявый // РЖГГК М. – 2006. – Т.16, N 4. – С. 38–48.
9. Медицинские последствия Чернобыльской аварии: обзор. Информационный бюллетень N 303, Апрель, 2006. – ВОЗ.
10. BEIR VII Report 2006. Phase 2. Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation. Committee to Assess Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation, – National Research Council.
11. Chitcholtan, K, Hampton, M.B, Keenan J.I. Outer membrane vesicles enhance the carcinogenic potential of *Helicobacter pylori*. *Carcinogenesis*, 2008, Vol.29, pp. 5–12.
12. Arabski M. [et al.] DNA damage and repair in *Helicobacter pylori*-infected gastric mucosa cells. *Mutat Res.*, 2005, Vol. 570, N. 1, pp. 129–135.
13. Ohshima, W., Okada, E., Fujiishi, Y., Narumi, K., Yasutake, N. In vivo rat glandular stomach and colon micronucleus tests: Kinetics of micronucleated cells, apoptosis, and cell proliferation in the target tissues after a single oral administration of stomach- or colon-carcinogens. *Mutat. Res.* 2013 Aug 15;755(2):141–7.

Поступила: 09.09.2018 г.

**Дударенко Сергей Владимирович** – доктор медицинских наук, заслуженный врач РФ, заведующий отделом терапии и интегративной медицины Всероссийского центра экстренной и радиационной медицины им. А.М. Никитина Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий России, Санкт-Петербург, Россия

**Рожко Александр Валентинович** – доктор медицинских наук, директор Республиканского научно-практического центра радиационной медицины и экологии человека, Гомель, Республика Беларусь

**Лопатин Сергей Николаевич** – врач-терапевт Всероссийского центра экстренной и радиационной медицины им. А.М. Никитина Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий России. **Адрес для переписки:** 194044, Россия, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 4/2; E-mail: Lopatinspb05@mail.ru.

**Леонтьев Олег Валентинович** – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой терапии и интегративной медицины института дополнительного профессионального образования «Экстремальная медицина» Всероссийского центра экстренной и радиационной медицины им. А.М. Никитина Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий России, Санкт-Петербург, Россия

Для цитирования: Дударенко С.В., Рожко А.В., Лопатин С.Н., Леонтьев О.В. Клинико-морфологические особенности патологии верхних отделов пищеварительной системы у жителей, постоянно проживающих на радиоактивно загрязненных территориях // Радиационная гигиена. – 2018. – Т. 11, № 4. – С. 71-79. DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-4-71-79

## Clinical and morphological features of the pathology of the upper digestive system in the residents permanently residing in radioactively contaminated areas

Sergey V. Dudarenko<sup>1</sup>, Aleksandr V. Rozhko<sup>2</sup>, Sergey N. Lopatin<sup>1</sup>, Oleg V. Leontyev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>The Nikiforov Russian Center of Emergency and Radiation Medicine of the Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, Saint-Petersburg, Russia

<sup>2</sup>Republican center of the radiation medicine and ecology of the human, Gomel, Belarus Republic

*The aim of the study was to study and evaluate the clinical and morphological characteristics of the pathology of the gastroduodenal zone of the digestive tract in the population of the radioactively contaminated areas in the immediate and remote observation periods after the Chernobyl accident. Methods: esophago-gastroduodenoscopy, cytological examination of gastrobiopsate, micronucleus test, dosimetric evaluation of gastrobiopsates. To solve the problems of the interrelation of the accident factors at the Chernobyl and the state of the mucous membrane of the upper digestive tract, a medical statistical evaluation of the frequency dependence of the pathology of the upper gastrointestinal tract and environmental factors of the accident in the near and distant period was carried out. Results: it has been established that the main morphological types describing the state of the gastric and duodenal mucosa in the examinees are: erosive, edematic, fibrotic changes on the background of Hp infection, as well as the development of inflammatory cell infiltration. The frequency of occurrence of micronuclei in mucosal mucosa does not depend on the frequency of infection of Helicobacter pylori, as well as the total alpha and beta activity of biopsy specimens of the gastric mucosa, the density of contamination of the territory at <sup>90</sup>Sr and <sup>137</sup>Cs. The relationship between the frequency of gastroduodenal pathology and the levels of contamination of the territory of permanent residence by <sup>90</sup>Sr and <sup>137</sup>Cs, as well as statistical regularities of the evaluation of the total alpha and beta activity of gastrobiopsates in residents of the radiation contaminated areas for a long period of observation are not statistically significant. Conclusions: the nature and clinical picture of the pathology of the upper digestive tract, the dynamics of the pathological process from inflammatory-dystrophic to atrophic changes in the gastric mucosa, the absence of a connection between this pathology and the indicators of ecological problems according to the isotope composition of the territories, I testify that the reason for the above-mentioned regularities may be the effect complex of factors of the Chernobyl accident.*

**Key words:** micronuclei, mucocytes of the stomach, Chernobyl catastrophe, population of radiation contaminated territories, Helicobacter pylori.

## References

1. Aruin L.I. Esophagus Barrett and Helicobacter pylori. Diagnosis and treatment of diseases associated with Helicobacter pylori. Rossiyskiy zhurnal gastroenterologii, gepatologii, koloproktologii = Ru J Gastroenterol Hepatol Coloproctol., 2000;10(2):5-9. (In Russian)
2. Aruin L.I. Helicobacter pylori and dysplasia of the gastric mucosa. Rossiyskiy zhurnal gastroenterologii, gepatologii, koloproktologii = Ru J Gastroenterol Hepatol Coloproctol., 2001;2:11-14. (In Russian)
3. Ilyinskikh N.N., Ilyinskikh I.N., Novitsky V.V., Vanchugova N.N. Micronuclear analysis and cytogenetic instability. Tomsk, Tomsk University, 1992, 272 p. (In Russian)
4. Kovalenko V.L., Kurenkov E.L., Koksharov V.N. Morphological characteristics of hyperplastic and adenomatous polyps of the stomach. Arkhiv Patologii = Arch. Pat., 1998;2:8-23. (In Russian)
5. Koterov A.N. Small doses of ionizing radiation: approaches to determining the range and basic radiobiological effects. In: Radiation Medicine. Manual for doctors, researchers, health organizers and radiation safety specialists. Under the Society. Ed. acad. RAMS L.A. Ilyin, Vol. 1, Theoretical Foundations of Radiation Medicine, Moscow: 2004: 871-925. (In Russian)
6. Kravtsov V.Y., Kitaeva L.V. Helicobacter pylori Infection and Mucocytes with Micronuclei in the Gastric Mucosa from the Liquidator. Mediko-biologicheskie i sotsialno-psikhologicheskie problemy bezopasnosti v chrezvychaynykh situatsiyakh = Medical-Biological and Social-Psychological Issues of Safety in Emergency Situations, 2011; 2: 84-88. (In Russian)

**Sergey N. Lopatin**

The Nikiforov Russian Center of Emergency and Radiation Medicine

**Address for correspondence:** Akademika Lebedeva str., 4/2, St.Petersburg, 194044, Russia; E-mail: Lopatinspb05@mail.ru

7. Kravtsov V.Y., Dudarenko S.V., Rozhko A.V. Micronuclei in cover-patching stomach epithelium in persons living on the radiation-contaminated. Mediko-biologicheskie i sotsialno-psikhologicheskie problemy bezopasnosti v chrezvychaynykh situatsiyakh = Medical-Biological and Social-Psychological Issues of Safety in Emergency Situations, 2012;1: 72-76. (In Russian)
8. Maev I.V., Zayratyants O.V., Kucheryavy Y.A. Intestinal metaplasia of the stomach mucosain gastroenterologist's practice: state of the art. Rossiyskiy zhurnal gastroenterologii, gepatologii, koloproktologii = Ru J Gastroenterol Hepatol Coloproctol., 2006; 16(4):38-48. (In Russian)
9. Medical consequences of the Chernobyl accident: overview. Informatsionnyy byulleten = Information Bulletin, N 303, April 2006, WHO. (In Russian)
10. BEIR VII Report 2006. Phase 2. Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation. Committee to Assess Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation, National Research Council.
11. Chitcholtan, K, Hampton, M.B, Keenan J.I. Outer membrane vesicles enhance the carcinogenic potential of Helicobacter pylori. Carcinogenesis, 2008, Vol.29, pp. 5-12.
12. Arabski M. [et al.] DNA damage and repair in Helicobacter pylori-infected gastric mucosa cells. Mutat Res., 2005, Vol. 570, N. 1, pp. 129–135.
13. Ohyama, W., Okada, E., Fujiishi, Y., Narumi, K., Yasutake, N. In vivo rat glandular stomach and colon micronucleus tests: Kinetics of micronucleated cells, apoptosis, and cell proliferation in the target tissues after a single oral administration of stomach- or colon-carcinogens. Mutat. Res. 2013 Aug 15;755(2):141-7.

Received: September 09, 2018

**Sergey V. Dudarenko** – Doctor of medical sciences, honorary physician of the Russian Federation, head of the department of therapy and intensive medicine of the Nikiforov Russian Center of Emergency and Radiation Medicine of the Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, Saint-Petersburg, Russia

**Aleksandr V. Rozhko** – Doctor of medical sciences, director of the Republican scientific-practical center of radiation medicine and ecology of the human, Gomel, Belarus Republic

**For correspondence: Sergey N. Lopatin** – therapist of the Nikiforov Russian Center of Emergency and Radiation Medicine of the Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters (Akademika Lebedeva str., 4/2, St.Petersburg, 194044, Russia; E-mail: Lopatinspb05@mail.ru)

**Oleg V. Leontyev** – Doctor of medical sciences, professor, head of the cathedra of therapy and integrative medicine of the institute of the additional professional education "Extreme medicine" of the Nikiforov Russian Center of Emergency and Radiation Medicine of the Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, Saint-Petersburg, Russia

**For citation: Dudarenko S.V., Rozhko A.V., Lopatin S.N., Leontyev O.V. Clinical and morphological features of the pathology of the upper digestive system in residents permanently residing in radioactively contaminated areas. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene, 2018, Vol. 11, No. 4, pp. 71-79. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-4-71-79**

## Современная стратегия защитных и медицинских мероприятий при радиационных авариях

А.Н. Гребенюк <sup>1,2</sup>, В.И. Легеза <sup>1</sup>, А.В. Миляев <sup>2</sup>, А.В. Старков <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Общество с ограниченной ответственностью «Специальная и Медицинская Техника», Санкт-Петербург, Россия

*Представлен обзор комплекса защитных и медицинских мероприятий, обеспечивающих недопущение детерминированных и снижение вероятности стохастических эффектов облучения при радиационных авариях. Показано, что наиболее эффективными способами обеспечения радиационной безопасности в условиях радиационной аварии являются защита временем, защита расстоянием и защита экранированием облучаемого объекта. Медицинские средства противорадиационной защиты применяются в дополнение к коллективным и индивидуальным техническим средствам при невозможности избежать сверхнормативного облучения. Дана классификация противолучевых лекарственных средств, включающая радиопротекторы, средства стимуляции радиорезистентности организма, средства профилактики и купирования первичной реакции на облучение, средства профилактики и лечения поражений от облучения инкорпорированными радионуклидами, средства лечения острого костномозгового синдрома, средства лечения местных лучевых поражений кожи и слизистых оболочек. Представлен перечень медицинских средств противорадиационной защиты, зарегистрированных на территории Российской Федерации. Дана характеристика аптек первой помощи, сумок медицинских, комплектов медицинского имущества, средств медицинской эвакуации, предназначенных для оказания первой и медицинской помощи в очаге радиационной аварии и на этапах медицинской эвакуации. Приведена номенклатура лекарственных препаратов и объемы резерва Министерства здравоохранения РФ, предназначенных для ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций радиационной природы. Сделан вывод о том, что в Российской Федерации разработана и внедрена современная стратегия защиты персонала, спасателей и населения при радиационных авариях, включающая проведение организационных, технических, санитарно-гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий в очаге и на этапах медицинской эвакуации.*

**Ключевые слова:** радиационная авария, охрана здоровья, способы физической защиты, медицинские мероприятия, противорадиационная защита, противолучевые лекарственные средства, аптечки первой помощи, сумки медицинские, комплекты медицинского имущества, резервы Министерства здравоохранения.

В условиях широкого использования источников ионизирующих излучений во всех сферах человеческой деятельности сохраняется вероятность возникновения чрезвычайных ситуаций радиационного характера с формированием различных клинических форм лучевых поражений людей. Поэтому аварийная готовность и экстренное реагирование являются критическими вопросами безопасности не только для персонала радиационно опасных объектов, но и для населения прилегающих территорий, специалистов аварийно-спасательных формирований и для государства в целом [1, 2].

При радиационных авариях и катастрофах, связанных с выбросом в окружающую среду радиоактивных веществ и потенциальной угрозой сверхнормативного

облучения людей, необходимо экстренное проведение защитных и медицинских мероприятий, главной целью которых является недопущение детерминированных эффектов и максимальное снижение стохастических эффектов облучения [3, 4]. При этом организационные, технические, санитарно-гигиенические и лечебно-эвакуационные мероприятия должны носить комплексный характер и выполняться в полном объеме с максимальным качеством. Неправильная оценка радиационной обстановки, неудачная и несвоевременная организация первоочередных защитных и медицинских мер могут привести в дальнейшем к значительным негативным последствиям для здоровья персонала аварийных объектов, специалистов аварийно-спасательных формирований и населения [5, 6].

**Гребенюк Александр Николаевич**

Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова Министерства здравоохранения Российской Федерации, Общество с ограниченной ответственностью «Специальная и Медицинская Техника»

**Адрес для переписки:** 194044, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, ул. Чугунная, д. 20; E-mail: grebenyuk\_an@mail.ru

Комплекс экстренных мероприятий, обеспечивающих уменьшение интенсивности воздействия на организм ионизирующих излучений и нерадиационных факторов аварий, предусматривает использование физических и медицинских способов защиты [3, 7]. Физическую противорадиационную защиту осуществляют временем (проведение работ, связанных с облучением, в течение минимально возможного отрезка времени), количеством (при невозможности избежать контакта – использование минимально возможного по технологии количества радиоактивного вещества или источника с минимально возможным выходом излучений), расстоянием (обеспечение во время работ с источниками ионизирующих излучений максимально возможного для данных условий расстояния от источника до человека) и экранированием облучаемого объекта (использование специальных защитных материалов и устройств, экранирующих организм человека от действия ионизирующих излучений, а также средств коллективной и индивидуальной защиты). Защита временем, расстоянием и экранированием является основным элементом противорадиационной защиты.

Медицинская противорадиационная защита является одним из важнейших элементов системы медицинского обеспечения населения, персонала радиационно-опасных объектов и спасателей при радиационных авариях [7, 8]. Она направлена на сохранение жизни, здоровья и трудоспособности людей в условиях действия поражающих факторов радиационной аварии, а ее целью является предотвращение возникновения детерминированных эффектов и сведение к минимуму стохастических эффектов облучения путем применения специальных лекарственных препаратов – медицинских средств противорадиационной защиты. Эти средства могут использоваться как для профилактики радиационных поражений, так и для оказания первой и медицинской помощи пораженным [9]. Решение о необходимости и порядке их использования принимается при наличии показаний на основе комплексной оценки радиационной обстановки, сопутствующих облучению условий деятельности, данных дозиметрического (радиометрического) контроля и т.п. Медицинские средства играют в противорадиационной защите вспомогательную роль: они применяются в дополнение к коллективным и индивидуальным средствам физической защиты при невозможности избежать сверхнормативного облучения. Однако при проведении медицинских мероприятий, направленных на устранение негативных последствий воздействия радиации для здоровья человека и ускорение восстановительных процессов в облученном организме, их использование является абсолютно необходимым [8, 10]. Правильное и своевременное использование медицинских средств защиты не только позволяет предотвратить или купировать наиболее выраженные и тяжелые проявления лучевой патологии, но и существенно увеличивает шансы пораженных на сохранение жизни и здоровья [11].

Следует подчеркнуть, что наибольшая эффективность медицинских средств противорадиационной защиты достигается при условии комплексного их использования совместно с техническими средствами индивидуальной защиты [7, 8]. При грамотном их применении позитивные эффекты медицинских и технических средств индивиду-

альной защиты, как правило, суммируются и дополняют друг друга.

Современная система медицинской противорадиационной защиты включает три группы средств: профилактические, лечебно-профилактические и лечебные лекарственные препараты (табл. 1).

Таблица 1

**Классификация противолучевых лекарственных средств**

[Table 1]

| <b>Classification of radioprotective drugs</b>                      |                                                                                                                                                                  |
|---------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Средства профилактики<br>[Preventive drugs]                         | Радиопротекторы<br>[Radioprotectors]                                                                                                                             |
|                                                                     | Средства стимуляции радиорезистентности организма<br>[Drugs for the stimulation of the radiore-sistance of the body]                                             |
| Лечебно-профилактические средства<br>[Medical and preventive drugs] | Радиомитигаторы<br>[Radiomitigators]                                                                                                                             |
|                                                                     | Средства профилактики и купирования первичной реакции на облучение<br>[Drugs for the prevention and reduction of the primary response on the exposure]           |
| Средства терапии<br>[Therapeutic drugs]                             | Средства профилактики поражений от облучения инкорпорированными радионуклидами<br>[Drugs for the prevention of the injuries from the incorporated radionuclides] |
|                                                                     | Средства лечения острого костномозгового синдрома ОЛБ<br>[Drugs for the treatment of the acute marrow failure as a part of acute radiation syndrome]             |
|                                                                     | Средства лечения местных лучевых поражений кожи и слизистых оболочек<br>[Drugs for the treatment of the local radiation injuries of the skin and mucosa]         |

Профилактика негативных последствий внешнего облучения обеспечивается прежде всего применением радиопротекторов и средств стимуляции радиорезистентности организма. Среди лечебно-профилактических средств выделяют радиомитигаторы, способные оказывать противолучевой эффект при введении в организм как до, так и в ранние сроки после радиационного воздействия, средства профилактики и купирования первичной реакции на облучение, а также средства профилактики внутреннего облучения и оказания неотложной помощи при попадании радиоактивных веществ в организм (антидоты радионуклидов). Группа лечебных средств включает препараты, предназначенные для стационарного специализированного лечения основных проявлений острой лучевой болезни и средства консервативной терапии местных лучевых поражений кожи и слизистых оболочек.

Для профилактики радиационных поражений предназначены радиопротекторы, из числа которых в Российской Федерации зарегистрированы препарат Б-190 и цистамин, и средства длительного повышения радиорезистентности – гепарин, рибоксин, эстрогены, иммуностимуляторы, адаптогены, поливитамины и др. [12, 13]. Для оказания неотложной медицинской помощи могут использоваться средства экстренной патогенетической терапии радиационных поражений (беталейкин, дезоксинат и др.), средства профилактики и купирования

первичной реакции на облучение (латран, диметпрамид, метацин и др.), антитоксические радиоактивных веществ (калия йодид, ферроцин, пентацин, унитиол и др.), средства санитарной обработки пораженных («Раддез», «Защита» и др.) [14–16]. В условиях специализированного стационара может использоваться широкий ассортимент современных лекарственных препаратов различных групп – антибиотики широкого спектра действия, противогрибковые и противовирусные препараты, средства дезинтоксикационной и заместительной терапии и т.п. [17–19].

Порядок применения медицинских средств противорадиационной защиты определяется прежде всего условиями радиационного воздействия, которые формируются при радиационной аварии, и дозами облучения населения, персонала радиационно-опасных объектов и специалистов аварийно-спасательных формирований, в том числе медиков [3, 6].

При планируемом облучении населения и персонала в дозах до 5 мЗв в год медицинские средства противорадиационной защиты не применяются.

Если есть уверенность, что доза облучения не превысит 1000 мЗв (1 Гр), следует применять поливитаминные препараты, адаптогены и другие средства стимуляции радиорезистентности. Оптимальные характеристики защиты достигаются в случае начала использования этих средств за 5–7 суток до предполагаемого облучения и длительного (курсового) их приема в течение всего времени пребывания в зоне повышенного радиационного фона.

Полिवитаминные препараты рекомендуется применять по 1 таблетке 3 раза в сутки после еды в течение 2–4 недель. Предпочтение отдается комплексным препаратам, в состав которых входят водо- (витамин С) и жирорастворимые (витамины Е и А) антиоксиданты в терапевтических дозах.

Наряду с поливитаминами, в течение всего времени пребывания в зоне повышенного радиационного фона целесообразно применение экстракта элеутерококка, настойки женьшеня или других адаптогенов. Прием этих препаратов проводится курсами в течение 14–21 суток с перерывами на 2–3 недели по 20–30 капель за 30 минут до еды 2 раза в сутки (утром и днем).

При угрозе облучения в дозах от 500 до 1000 мЗв (0,5–1 Гр) совместно с поливитаминами и адаптогенами необходимо применять рибоксин (по 2 таблетки 2 раза в день в течение всего времени пребывания в зоне повышенного облучения). При возникновении тошноты следует принять 1 таблетку латрана.

Если планируемые работы на радиоактивнозагрязненной местности сопряжены с опасностью облучения в дозе более 1000 мЗв (более 1 Гр), то персонал аварийно-спасательных формирований, в том числе и медицинские работники, за 10–15 мин до начала облучения должны принять 3 таблетки препарата Б-190, 1 таблетку калия йодида и 1 таблетку латрана. В случае необходимости дальнейшего пребывания в опасной зоне при прогнозируемых дозах облучения свыше 1 Гр необходимо повторно принять 3 таблетки препарата Б-190 (не ранее чем через 1 ч после первого приема).

Если предполагаемая доза облучения, время начала и продолжительность радиационного воздействия точно неизвестны, нужно профилактически принять 1 таблетку

латрана и 1 таблетку калия йодида. После уточнения дозы и сроков облучения при необходимости применяют радиопротекторы – препарат Б-190 или цистамин (при планируемом остром облучении в дозе свыше 1 Гр) или средство стимуляции радиорезистентности организма гепарин (при планируемом пролонгированном облучении в дозе свыше 1 Гр).

При возникновении после облучения рвоты следует внутримышечно ввести латран (2–4 мл) или метоклопрамид (2 мл). В возможно более ранние сроки после облучения проводят инфузии плазмозамещающих препаратов (полиглюкин, гемодез и др.), применяют неселективные энтеросорбенты (активированный уголь, смектит диоктаэдрический и др.). При поглощенной дозе более 1 Гр в первый час после облучения необходимо подкожно ввести беталейкин в дозе 1 мкг в 2 мл физиологического раствора.

При радиационных авариях на объектах атомной энергетики, вне зависимости от ожидаемых доз внешнего облучения, персоналу аварийно-спасательных формирований, включая медицинских работников, и населению следует проводить йодную профилактику [16]: перорально принять 1 таблетку калия йодида (при необходимости повторно, но не более 8 суток). При угрозе инкорпорации радиоактивного цезия целесообразно раннее назначение ферроцина (по 2 таблетки 3 раза в день).

Профилактика внутреннего радиоактивного заражения осуществляется путем использования индивидуальных средств защиты органов дыхания (респираторов или противогазов), запрета употребления непроверенной пищи и воды, удаления радиоактивных веществ с одежды и кожных покровов (деактивация и санитарная обработка).

Для удаления радионуклидов с загрязненных кожных покровов могут быть использованы дезактивирующие средства «Раддез Д», «Фон К», «Деконтамин», порошок «Защита» (1 ложку порошка смешивают с небольшим количеством воды и растирают в течение 1 мин по загрязненному участку кожи, после чего образующуюся пену смывают; процедуру повторяют 2–3 раза). Слизистые оболочки глаз, носа и полости рта промывают 2% раствором гидрокарбоната натрия, физиологическим раствором или проточной водой.

Для удобства хранения и применения в условиях радиационной аварии большинство противолучевых лекарственных средств, предназначенных для профилактики поражений и оказания неотложной медицинской помощи на догоспитальном этапе, входит в состав аптечек первой помощи, сумок медицинских и комплектов медицинского имущества [20, 21]. Эти медицинские изделия специально разработаны для оптимизации оказания первой и медицинской помощи при чрезвычайных ситуациях мирного и военного времени [22]. Так, аптечка первой помощи индивидуальная АППИ содержит радиопротектор Б-190 и средство профилактики первичной реакции на облучение латран, а аптечка первой помощи групповая АППГ – средство для оказания неотложной помощи при радиационных и термических ожогах (лиоксазин). В сумке первой помощи СПП, наряду с этими лекарственными средствами, находится калия йодид, в сумке фельдшера СФВ – калия йодид и ферроцин, в сумке врача СБВ – калия йодид, ферроцин, унитиол и беталейкин. Калия йодид, ферро-

цин, латран и препарат Б-190 также входят в состав комплекта индивидуального медицинского гражданского защиты КИМГЗ, предназначенного для оказания первой и медицинской помощи в районах радиоактивного загрязнения. Лекарственные средства для профилактики и терапии радиационных и других поражений входят также в состав комплектов медицинского имущества, с помощью которых в непосредственной близости от очага радиационной аварии могут быстро развертываться функциональные подразделения мобильных медицинских формирований (медицинских рот и отрядов, аэромобильных и других госпиталей) – сортировочный пост, площадка санитарной обработки, приемно-сортировочное, противошоковое, госпитальное и другие отделения. Оказание первой и медицинской помощи при ранах и ожогах, неминуемо возникающих при действии нерадиационных факторов аварий, возможно путем применения современных местных гемостатических средств (гемохит, гемостоп, хитоблок и др.) и противоожогового средства лиоксазин, который выпускается в виде геля или пропитанных биологически активной гидрогелевой композицией салфеток. Для медицинской эвакуации тяжелопораженных из очага аварии может использоваться многофункциональное эвакуационно-транспортное иммобилизирующее

устройство МЭТИУ, позволяющее в автономном режиме проводить мониторинг жизненно важных функций, дефибрилляцию, искусственную вентиляцию легких, дозированное введение лекарственных препаратов и другие реанимационные мероприятия. Необходимо особо подчеркнуть, что современные отечественные противолучевые лекарственные средства и изделия медицинского назначения по своим фармакологическим, научно-техническим и экономическим показателям не уступают зарубежным аналогам, а по ряду показателей даже превосходят их.

Основные отечественные медицинские средства противорадиационной защиты, предназначенные для профилактики и оказания медицинской помощи при радиационных поражениях, и комплекты медицинского имущества, в состав которых они входят, представлены в таблице 2.

Порядок организации и проведения мероприятий экстренной медицинской помощи пострадавшим при радиационных авариях определен приказом Министерства здравоохранения РФ от 24.01.2000 г. № 20 «О введении в действие Руководства по организации санитарно-гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий при крупномасштабных радиационных авариях» [23].

Таблица 2  
Медицинские средства противорадиационной защиты, зарегистрированные на территории Российской Федерации  
[Table 2]

| Radioprotective drugs registered in the Russian Federation                                                |                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Наименование<br>[Name of the drug]                                                                        | Форма выпуска<br>[Product description]                                                                                                      | Предназначение<br>[Intended use]                                                                                                                                                                                    | Наличие в аптечках,<br>сумках<br>[Availability in the first aid<br>kits and bags] |
| Дезоксирибонуклеат натрия<br>(дезоксинат, деринат)<br>[Sodium deoxyribonucleate<br>(deoxynate, derinate)] | Раствор для инъекций<br>5 мг/мл в ампулах по 5 мл<br>[Solution for injections 5<br>mg/ml in 5 ml ampoules]                                  | Средство ранней терапии<br>радиационных поражений<br>[A drug for the early therapy of the radiation injuries]                                                                                                       | –                                                                                 |
| Димеркаптопропансульфонат<br>натрия (унитиол)<br>[Sodium dimercaptopropane-<br>sulphonate (unitiol)]      | 5% раствор для инъекций в<br>ампулах по 5 мл<br>[5% solution for injections in 5<br>ml ampoules]                                            | Средство для связывания и ускорения<br>выведения радиоактивного полония<br>[A drug for the binding and acceleration of<br>excretion of the radioactive polonium]                                                    | СВВ<br>[SVV]                                                                      |
| Калий-железо гексациано-<br>феррат (ферроцин)<br>[Potassium-iron hexacyanofer-<br>rate (ferrocine)]       | Таблетки по 0,5 г<br>[0,5 g tablets]                                                                                                        | Средство для связывания и ускорения<br>выведения радиоактивного цезия<br>[A drug for the binding and acceleration of<br>excretion of the radioactive cesium]                                                        | СФВ, СВВ, КИМГЗ<br>[SVF, SVV, KIMGZ]                                              |
| Калия йодид<br>[Potassium iodide]                                                                         | Таблетки по 125 мг<br>[125 mg tablets]                                                                                                      | Средство профилактики накопления<br>радиойода в щитовидной железе<br>[A drug for the prevention for the ac-<br>cumulation of the radioactive iodine in the<br>thyroid gland]                                        | СПП, СФВ, СВВ, КИМГЗ<br>[SPP, SVF, SVV, KIMGZ]                                    |
| Кальция тринатрия пентетат<br>(пентацин)<br>[Calcium trisodium pentetate<br>(pentacine)]                  | 5% раствор для инъекций в<br>ампулах по 5 мл<br>[5% solution for injections in 5<br>ml ampoules]                                            | Средство для связывания и ускорения<br>выведения плутония, урана и трансу-<br>рановых элементов<br>[A drug for the binding and acceleration of<br>excretion of the plutonium, uranium and<br>transuranium elements] | –                                                                                 |
| Метоклопрамид (церукал,<br>реглан)<br>[Metoclopramide (cerukal,<br>reglan)]                               | Таблетки по 10 мг,<br>0,5% раствор для инъекций<br>в ампулах по 2 мл<br>[10 mg tablets<br>0,5% solution for injections in<br>2 ml ampoules] | Средство профилактики и купирования<br>первичной реакции на облучение<br>[A drug for the prevention and reduction of<br>the initial reaction on the exposure]                                                       | СВВ<br>SVV                                                                        |

| Наименование<br>[Name of the drug]                                                                                | Форма выпуска<br>[Product description]                                                                                                                                           | Предназначение<br>[Intended use]                                                                                                                              | Наличие в аптечках,<br>сумках<br>[Availability in the first aid<br>kits and bags] |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Ондансетрон (латран)<br>[Ondacetron (latran)]                                                                     | Таблетки, покрытые<br>оболочкой, по 4 мг.<br>2 мг/мл раствор для инъек-<br>ций в ампулах по 2 мл<br>[4 mg coated tablets<br>2 mg/ml solution for injections<br>in 2 ml ampoules] | Средство профилактики и купирования<br>первичной реакции на облучение<br>[A drug for the prevention and reduction of<br>the initial reaction on the exposure] | АППИ, СПП, СФВ, СВВ,<br>КИМГЗ<br>[APPI, SPP, SVF, SVV,<br>KIMGZ]                  |
| Препарат Б-190<br>(индралин)<br>[B-190 (indralin)]                                                                | Таблетки по 150 мг<br>[150 mg tablets]                                                                                                                                           | Радиопротектор<br>[Radioprotective drug]                                                                                                                      | АППИ, СПП, КИМГЗ<br>[APPI, SPP, KIMGZ]                                            |
| Рекомбинантный<br>интерлейкин-1 $\beta$ человека<br>(беталейкин)<br>[Human recombinant<br>interleukin-1 $\beta$ ] | Леофилизат для раство-<br>ра для инъекций по 1 мкг в<br>ампуле<br>[Lyophilisate for the solu-<br>tion for injections in 1 mkg<br>ampoules]                                       | Средство ранней (экстренной) терапии<br>радиационных поражений<br>[A drug for the early (emergency) therapy<br>of radiation injuries]                         | СВВ<br>[SVV]                                                                      |
| Цистамин<br>[Cistamin]                                                                                            | Таблетки по 200 мг<br>[200 mg tablets]                                                                                                                                           | Радиопротектор<br>[Radioprotective drug]                                                                                                                      | –                                                                                 |

Согласно этому документу, ликвидация медико-санитарных последствий радиационных аварий осуществляется непосредственно в очаге радиационных поражений, на этапах медицинской эвакуации и в специализированных медицинских учреждениях, предназначенных для лечения этой категории пораженных. Особенностью оказания экстренной медицинской помощи при радиационных авариях является то, что медицинские мероприятия проводятся в условиях одномоментного появления большого количества пораженных и необходимости проведения специальных защитных мероприятий – использование средств индивидуальной защиты, санитарная обработка пораженных, дезактивация медицинского транспорта и пр. При организации медицинских мероприятий следует также учитывать возможные медицинские последствия радиационной аварии, непосредственно не связанные с воздействием радиационного фактора: острые психотические и стрессорные состояния, обострение ряда общесоматических заболеваний, формирование психологической и социальной дезадаптации, высокий уровень травматизма и другие значимые расстройства здоровья.

Особенности воздействия на организм человека ионизирующих излучений и клиника лучевой патологии определяют специфику организации оказания медицинской помощи при радиационных авариях [24]. Несмотря на то, что первичные физические, физико-химические и химические процессы взаимодействия ионизирующих излучений с биообъектами вызывают в клетках организма множественные патологические изменения практически сразу после воздействия, первичные клинические проявления лучевого поражения выявляются лишь через несколько минут, часов, а иногда и суток после облучения (время и степень выраженности их проявлений прямо зависят от дозы облучения). При правильной организации работы медицинских формирований это дает возможность провести сортировку пораженных и подготовить их к транспортировке для лечения в условиях специали-

зированного стационара [17]. Учитывая, что медицинский персонал большинства медицинских учреждений не имеет практических навыков в диагностике и лечении лучевой патологии, при организации и проведении мероприятий по оказанию медицинской помощи пораженным при радиационных авариях целесообразно опираться на специализированные медицинские бригады, прошедшие специальную подготовку и имеющие опыт лечения радиационных поражений, а также на медицинские учреждения, имеющие специализированное оснащение для выполнения лечебно-диагностических мероприятий для данной категории пациентов [23, 24].

В случае развития симптомов радиационного поражения после оказания неотложной помощи пострадавший должен быть госпитализирован в специализированный стационар, в котором есть возможность оказания высокотехнологичной медицинской помощи [19, 23, 24]. В Российской Федерации оказание специализированной медицинской помощи пострадавшим при радиационных авариях осуществляется в Федеральном медицинском биофизическом центре им. А.И. Бурназяна ФМБА России (Москва).

Существующая в Российской Федерации двухэтапная система оказания медицинской помощи при радиационных авариях предусматривает возможность использования медицинских средств противорадиационной защиты как на этапах медицинской эвакуации (вне медицинской организации), так и в медицинских организациях, предназначенных для оказания специализированной медицинской помощи [8, 18]. Вследствие этого важной составной частью медицинского обеспечения персонала, спасателей и населения при подобных чрезвычайных ситуациях является наличие в оперативной доступности медицинских средств противорадиационной защиты.

Формирование стратегических запасов этих средств возложено на органы государственной власти, а первичная ответственность за оказание медицинской помо-

Таблица 3

**Номенклатура лекарственных препаратов и объемы резерва Министерства здравоохранения Российской Федерации для ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций радиационной природы**

[Table 3]

**Available drugs and capacity of the reserves of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation for the liquidation of radiation emergency situations]**

| Наименование лекарственного препарата<br>[Drug]                                                     | Лекарственная форма<br>[Form of administration]                                                                | Единица измерения<br>[Unit]      | Количество<br>[Quantity] |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------|
| Дезоксирибонуклеат натрия (дезоксинат, деринат)<br>[Sodium deoxyribonucleate (deoxynate, derinate)] | Раствор для инъекций<br>[Solution for injections]                                                              | Ампула<br>[ampulla]              | 1800                     |
| Калий-железо гексацианоферрат (ферроцин) [Potassium-iron hexacyanoferrate (ferrocin)]               | Таблетки<br>[Tablets]                                                                                          | Таблетка<br>[tablet]             | 119 000                  |
| Калия йодид<br>[Potassium iodide]                                                                   | Таблетки 125 мг;                                                                                               | Таблетка,                        | 61 600                   |
|                                                                                                     | таблетки 40 мг<br>[125 mg tablets<br>40 mg tablets]                                                            | таблетка<br>[tablet<br>tablet]   | 18 400                   |
| Кальция тринатрия пентетат (пентацин)<br>[Calcium trisodium pentetate (pentacine)]                  | Раствор для внутривенного введения и ингаляций<br>[Solution for injections and inhalations]                    | Ампула<br>[ampulla]              | 52 800                   |
| Метоклопрамид<br>[Metoclopramid]                                                                    | Раствор для инъекций;                                                                                          | Ампула,                          | 15 000                   |
|                                                                                                     | таблетки<br>[Solution for injections, tablets]                                                                 | таблетка<br>[ampulla<br>tablet]  | 10 000                   |
| Ондансетрон<br>[Ondacetrone]                                                                        | Раствор для внутривенного и внутримышечного введения;                                                          | Ампула,<br>таблетка<br>[ampulla] | 5280                     |
|                                                                                                     | таблетки, покрытые оболочкой<br>[Solution for the intravenous and intramuscular injection;<br>coated tablets ] | tablet]                          | 10 560                   |

мощи пораженным – на медицинские организации [25]. Резервы (запасы) противолучевых средств создаются в каждом из субъектов Российской Федерации, а также в ВЦМК «Защита» (резерв Минздрава РФ). Номенклатура противолучевых лекарственных препаратов и объемы их содержания в резерве Минздрава РФ определены приказом Минздрава России № 598 от 26.08.2013 г. «Об утверждении Положения о резерве медицинских ресурсов Министерства здравоохранения Российской Федерации для ликвидации медико-санитарных последствий чрезвычайных ситуаций, его номенклатуры и объема» (табл. 3).

Таким образом, в Российской Федерации разработана и внедрена современная стратегия защиты персонала, спасателей и населения при радиационных авариях, включающая проведение организационных, технических, санитарно-гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий в очаге и на этапах медицинской эвакуации. Созданные отечественными учеными противолучевые лекарственные средства и медицинское имущество позволяют эффективно осуществлять весь комплекс защитных и медицинских мероприятий при радиационных авариях.

### Литература

1. Нормы безопасности МАГАТЭ. Готовность и реагирование в случае ядерной или радиационной аварийной ситуации:

Серия норм безопасности МАГАТЭ № GS-R-2. – Вена, 2004. – 92 с.

2. Нормы безопасности МАГАТЭ. Меры по обеспечению готовности к ядерной или радиологической аварийной ситуации: руководство по безопасности № GS-G-2.1. – Вена, 2016. – 182 с.
3. Крупные радиационные аварии: последствия и защитные меры / под ред. Л.А. Ильина, В.А. Губанова. – М.: ИздАТ, 2001. – 752 с.
4. Generic procedures for medical response during a nuclear or radiological emergency. International Atomic Energy Agency, World Health Organization. Vienna, 2005, 287 p.
5. Онищенко, Г.Г. Анализ радиационно-гигиенических и медицинских последствий Чернобыльской аварии / Г.Г. Онищенко // Гигиена и санитария. – 2013. – № 4. – С. 12–18.
6. Легеза, В.И. Медицинская защита при радиационных авариях: некоторые итоги и уроки Чернобыльской катастрофы / В.И. Легеза, А.Н. Гребенюк, В.В. Зацепин // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2011. – Т. 51, № 1. – С. 70–75.
7. Гребенюк, А.Н. Принципы, средства и методы медицинской противорадиационной защиты / А.Н. Гребенюк, В.В. Зацепин, А.А. Тимошевский // Медицина катастроф. – 2007. – № 3 (59). – С. 32–35.
8. Ильин, Л.А. Противолучевые средства в системе радиационной защиты персонала и населения при радиационных авариях / Л.А. Ильин, И.Б. Ушаков, М.В. Васин // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2012. – Т. 57, № 3. – С. 26–31.

9. Гребенюк, А.Н. Современные возможности медикаментозной профилактики и ранней терапии радиационных поражений / А.Н. Гребенюк, В.В. Зацепин, В.Б. Назаров, Т.Н. Власенко // Военно-медицинский журнал. – 2011. – Т. 332, № 2. – С. 13–17.
10. Xiao M., Whitnall M.H. Pharmacological countermeasures for acute radiation syndrome. *Current Molecular Pharmacology*, 2009, № 2, pp. 122–133.
11. Legeza V.I., Grebenyuk A.N. Medical protection in radiation accidents: some results and lessons of the Chernobyl accident. *The Lessons of Chernobyl: 25 years later*. Eds. E.B. Burlakova, V.I. Naydich. New York, Nova Science Publishers Inc., 2012, pp. 47–54.
12. Гребенюк, А.Н. Перспективы использования радиопротекторов для повышения эффективности медицинской противорадиационной защиты Вооруженных Сил / А.Н. Гребенюк, В.И. Легеза // Военно-медицинский журнал. – 2013. – Т. 334, № 7. – С. 46–50.
13. Состояние и перспективы развития средств профилактики и лечения радиационных поражений / под ред. В.Д. Гладких. – М.: Комментарий, 2017. – 304 с.
14. Гребенюк, А.Н. Радиомитигаторы: перспективы использования в системе медицинской противорадиационной защиты / А.Н. Гребенюк, В.И. Легеза, Р.А. Тарумов // Военно-медицинский журнал. – 2014. – Т. 335, № 6. – С. 39–43.
15. Гребенюк, А.Н. Медицинские средства профилактики и терапии радиационных поражений / А.Н. Гребенюк, В.И. Легеза, В.Б. Назаров, А.А. Тимошевский. – СПб: Фолиант, 2011. – 92 с.
16. Iodine thyroid blocking: Guidelines for use in planning for and responding to radiological and nuclear emergencies. World Health Organization. Geneva, 2017, 46 p.
17. Халимов, Ю.Ш. Современные возможности оказания терапевтической помощи при возникновении массовых санитарных потерь радиационного профиля / Ю.Ш. Халимов [и др.] // Военно-медицинский журнал. – 2012. – Т. 333, № 2. – С. 24–32.
18. Халимов, Ю.Ш. Современное состояние и перспективы совершенствования специализированной помощи при остром костномозговом синдроме радиационной этиологии / Ю.Ш. Халимов [и др.] // Военно-медицинский журнал. – 2013. – Т. 334, № 1. – С. 25–32.
19. Waselenko, J.K. [et al.] Medical management of the acute radiation syndrome: recommendations of the Strategic National Stockpile Radiation Working Group. *Annals of Internal Medicine*, 2004, Vol. 140, № 12, pp. 1037–1051.
20. Мирошниченко, Ю.В. Использование современных аптек для оказания первой помощи военнослужащим Вооруженных сил Российской Федерации / Ю.В. Мирошниченко [и др.] // Военно-медицинский журнал. – 2012. – Т. 333, № 3. – С. 48–54.
21. Мирошниченко, Ю.В. Использование современных сумок медицинских в войсковом звене медицинской службы Вооруженных сил / Ю.В. Мирошниченко [и др.] // Военно-медицинский журнал. – 2012. – Т. 333, № 10. – С. 52–58.
22. Мирошниченко, Ю.В. Применение современных аптек и сумок при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций / Ю.В. Мирошниченко [и др.] // Кремлевская медицина. Клинический вестник. – 2013. – № 2. – С. 176–181.
23. Организация санитарно-гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий при крупномасштабных радиационных авариях: руководство / под ред. Л.А. Ильина. – М.: ВЦМК «Защита», 2005. – 522 с.
24. Flidner, T.M. [et al.] Medical management of radiation accidents: Manual on the acute radiation syndrome (METREPOL). Oxford: British Institute of Radiology, 2001, 66 p.
25. Гребенюк, А.Н. Практическое руководство по использованию медицинских средств противорадиационной защиты при чрезвычайных ситуациях и обеспечению ими аварийных медико-санитарных формирований и региональных аварийных центров / А.Н. Гребенюк [и др.]. – М.: Комментарий, 2015. – 304 с.

Поступила: 27.07.2018 г.

**Гребенюк Александр Николаевич** – доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры мобилизационной подготовки здравоохранения и медицины катастроф Первого Санкт-Петербургского государственного медицинского университета имени академика И.П. Павлова Минздрава России, заместитель директора по научной работе Общества с ограниченной ответственностью «Специальная и Медицинская Техника». **Адрес для переписки:** 194044, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, ул. Чугунная, д. 20; E-mail: grebenyuk\_an@mail.ru

**Легеза Владимир Иванович** – доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры мобилизационной подготовки здравоохранения и медицины катастроф Первого Санкт-Петербургского государственного медицинского университета имени академика И.П. Павлова Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия

**Миляев Алексей Владимирович** – директор Общества с ограниченной ответственностью «Специальная и Медицинская Техника», Санкт-Петербург, Россия

**Старков Александр Васильевич** – кандидат медицинских наук, доцент, заведующий кафедрой мобилизационной подготовки здравоохранения и медицины катастроф Первого Санкт-Петербургского государственного медицинского университета имени академика И.П. Павлова Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия

**Для цитирования:** Гребенюк А.Н., Легеза В.И., Миляев А.В., Старков А.В. Современная стратегия защитных и медицинских мероприятий при радиационных авариях // *Радиационная гигиена*. – 2018. – Т. 11, № 4. – С. 80–88. DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-4-80-88

## Modern strategy of health protection and medical measures in radiation accidents

Aleksandr N. Grebenyuk <sup>1,2</sup>, Vladimir I. Legeza <sup>1</sup>, Aleksey V. Milyaev <sup>2</sup>, Aleksandr V. Starkov <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Pavlov First Saint Petersburg State Medical University, Saint-Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Special and Medical Facilities LLS, Saint-Petersburg, Russia

*A review of the complex of health protection and medical measures ensuring the prevention of deterministic and reducing the probability of stochastic effects of irradiation during radiation accidents is presented. It is shown that the most effective methods of ensuring radiation safety at radiation accidents are protection by time, protection by distance and shielding of the irradiated object. Medical means of anti-radiation protection are used in addition to collective and individual technical means when it is impossible to avoid over-standard radiation exposure. Classification of antiradiation medicines, including radioprotectors, means for stimulating the radioresistance of the organism, means for preventing and stopping the primary reaction to irradiation, means for preventing and treating injuries from irradiation by incorporated radionuclides, means for treating acute bone marrow syndrome, and means for treating local radiation injuries of the skin and mucous are given. The list of medical means of antiradiation protection registered in the Russian Federation is presented. Characteristics of first-aid kits, medical bags, medical equipment kits, medical evacuation devices intended for the first aid and medical assistance in the outbreak of a radiation accident and at the stages of medical evacuation are given. The nomenclature of medicines and volumes of the reserve of the Ministry of Health of the Russian Federation intended for liquidation of consequences of emergency situations of radiation nature are given. It is concluded that the Russian Federation has developed and implemented a modern strategy to protect personnel, rescuers and the population in emergency situations of radiation nature, including organizational, technical, hygienic and medical measures in the outbreak of a radiation accident and at the stages of medical evacuation.*

**Key words:** radiation accident, health protection, methods of physical protection, medical measures, radiation protection, antiradiation medicines, first-aid kits, medical bags, medical equipment kits, Ministry of Health reserves.

### References

1. IAEA safety standards series. Readiness and response in the event of a nuclear or radiological emergency: No. GS-R-2. Vienna, 2004, 92 p. (in Russian)
2. IAEA safety standards series. Preparedness measures for nuclear or radiological emergencies: a safety guide. No. GS-G-2.1. Vienna, 2016, 182 p. (in Russian)
3. Major radiation accidents: consequences and protective measures. Eds. L.A. Ilyin, V.A. Gubanov. Moscow, Izdat, 2001, 752 p. (in Russian)
4. Generic procedures for medical response during a nuclear or radiological emergency. International Atomic Energy Agency, World Health Organization. Vienna, 2005, 287 p.
5. Onischenko G.G. Analysis of the radiation and hygiene and medical consequences of the Chernobyl accident. *Gigiena i sanitariya* = Hygiene and sanitation. 2013; 4: 12–8. (in Russian)
6. Legeza V.I., Grebenyuk A.N., Zatsepin V.V. Medical protection in case of radiation accidents: some results and lessons of the Chernobyl disaster. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya* = Radiation biology. Radioecology. 2011; 51(1): 70–5. (in Russian)
7. Grebenyuk A.N., Zatsepin V.V., Timoshevsky A.A. Principles, means and methods of medical anti-radiation protection. *Meditsina katastrof* = Disaster medicine. 2007; 3(59): 32–5. (in Russian)
8. Ilyin L.A., Ushakov I.B., Vasin M.V. Anti-radiation means in the system of radiation protection of personnel and population during radiation accidents. *Meditsinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost* = Medical radiology and radiation safety. 2012; 57(3): 26–31. (in Russian)
9. Grebenyuk A.N., Zatsepin V.V., Nazarov V.B., Vlasenko T.N. Modern possibilities of drug prevention and early therapy of radiation injuries. *Voenno-meditsinskiy zhurnal* = Military medical journal. 2011; 332(2): 13–7. (in Russian)
10. Xiao M., Whitnall M.H. Pharmacological countermeasures for acute radiation syndrome. *Current Molecular Pharmacology*. 2009; 2: 122–33.
11. Legeza V.I., Grebenyuk A.N. Medical protection in radiation accidents: some results and lessons of the Chernobyl accident. *The Lessons of Chernobyl: 25 years later*. Eds. E.B. Burlakova, V.I. Naydich. New York: Nova Science Publishers Inc., 2012. pp. 47–54.
12. Grebenyuk A.N., Legeza V.I. Prospects of using radioprotectors for increasing the effectiveness of medical anti-radiation protection of the Armed Forces. *Voenno-meditsinskiy zhurnal* = Military medical journal. 2013; 334(7): 46–50. (in Russian)
13. State and perspectives of development of means for the prevention and treatment of radiation damage. Ed. V.D. Gladkikh. Moscow, Kommentariy, 2017, 304 p. (in Russian)
14. Grebenyuk A.N., Legeza V.I., Tarumov R.A. Radiomitigators: perspectives of use in the system of medical antiradiation protection. *Voenno-meditsinskiy zhurnal* = Military medical journal. 2014; 335(6): 39–43. (in Russian)

**Aleksandr N. Grebenyuk**

Pavlov First Saint-Petersburg State Medical University, Special and Medical Facilities LLS

**Address for correspondence:** Chugunnaya str., 20, Saint-Petersburg, 194044, Russia; E-mail: grebenyuk\_an@mail.ru

15. Grebenyuk A.N., Legeza V.I., Nazarov V.B., Timoshevsky A.A. Medical means of prevention and therapy of radiation injuries. SPb: Foliant, 2011. 92 pp. (in Russian)
16. Iodine thyroid blocking: Guidelines for use in planning for and responding to radiological and nuclear emergencies. World Health Organization. Geneva, 2017, 46 p.
17. Halimov, Yu.Sh. [et al.] Modern possibilities of rendering therapeutic assistance in the event of massive sanitary losses of the radiation profile. *Voenno-meditsinskiy zhurnal = Military medical journal*. 2012; 333(2): 24–32. (in Russian)
18. Halimov, Yu.Sh. [et al.] Current state and prospects for improving specialized care in acute bone-brain syndrome of radiation etiology. *Voenno-meditsinskiy zhurnal = Military medical journal*. 2013; 334(1): 25–32. (in Russian)
19. Waselenko, J.K. [et al.] Medical management of the acute radiation syndrome: recommendations of the Strategic National Stockpile Radiation Working Group. *Annals of Internal Medicine*. 2004; 140(12): 1037–51.
20. Miroshnichenko, Yu.V. [et al.] Use of modern first-aid kits to provide first aid to servicemen of the Armed Forces of the Russian Federation. *Voenno-meditsinskiy zhurnal = Military medical journal*. 2012; 333(3): 48–54. (in Russian)
21. Miroshnichenko, Yu.V. [et al.] Use of modern medical bags in the military unit of the medical service of the Armed Forces. *Voenno-meditsinskiy zhurnal = Military medical journal*. 2012; 333(10): 52–8. (in Russian)
22. Miroshnichenko, Yu.V. [et al.] Application of modern first-aid kits and bags during liquidation of consequences of emergency situations. *Kremlevskaya meditsina. Klinicheskiy vestnik = Kremlin medicine. Clinical Herald*. 2013; 2: 176–81. (in Russian)
23. Organization of sanitary-hygienic and medical-prophylactic measures for large-scale radiation accidents: management. Ed. L.A. Ilyin. Moscow, VTsMK «Zashchita», 2005, 522 p. (in Russian)
24. Fliedner, T.M. [et al.] Medical management of radiation accidents: Manual on the acute radiation syndrome (METREPOL). Oxford: British Institute of Radiology, 2001, 66 p.
25. Grebenyuk A.N. [et al.] Practical guidance on the use of medical means of antiradiation protection in emergency situations and providing them with emergency medical and sanitary units and regional emergency centers. Moscow, Kommentariy, 2015, 304 p. (in Russian)

Received: July 27, 2018

**For correspondence: Aleksandr N. Grebenyuk** – Doctor of Medical Science, Professor, Department of the mobilization preparedness of the healthcare and disaster medicine, Pavlov First Saint-Petersburg State Medical University, Special and Medical Facilities LLS (Chugunnaya str., 20, Saint-Petersburg, 194044, Russia; E-mail: grebenyuk\_an@mail.ru)

**Vladimir I. Legeza** – Doctor of Medical Science, Professor, Department of the mobilization preparedness of the healthcare and disaster medicine, Pavlov First Saint-Petersburg State Medical University, Saint-Petersburg, Russia

**Aleksey V. Milyaev** – Director of Special and Medical Facilities LLS, Saint-Petersburg, Russia

**Aleksandr V. Starkov** – Candidate of Medical Science, assistant Professor, Department of the mobilization preparedness of the healthcare and disaster medicine, Pavlov First Saint-Petersburg State Medical University, Saint-Petersburg, Russia

**For citation: Grebenyuk A.N., Legeza V.I., Milyaev A.V., Starkov A.V. Modern strategy of health protection and medical measures in radiation accidents. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*, 2018, Vol. 11, No. 4, pp. 80–88. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-4-80-88**

## Специализированная и высокотехнологичная медицинская помощь пострадавшим в аварии на Чернобыльской АЭС в рамках мероприятий Союзного государства

С.С. Алексанин, В.Ю. Рыбников, К.К. Рогалев, Ю.В. Гудзь, С.В. Дударенко

Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины им. А.М. Никифорова, Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий России, Санкт-Петербург, Россия

*Представлен опыт и особенности организации и оказания специализированной и высокотехнологичной медицинской помощи пострадавшим в аварии на Чернобыльской АЭС в рамках мероприятий Союзного государства на базе Всероссийского центра экстренной и радиационной медицины им. А.М. Никифорова МЧС России. Показаны особенности заболеваемости, инвалидизации и смертности пострадавших в аварии на Чернобыльской АЭС. Представлены виды и объемы оказанной медицинской помощи пострадавшим в аварии на Чернобыльской АЭС за период с 2007 по 2018 г. Выявлены особенности организации оказания специализированной, в том числе высокотехнологичной, медицинской помощи и медицинской реабилитации участникам ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС и жителям радиоактивно загрязненных территорий.*

**Ключевые слова:** Союзное государство, ликвидаторы аварии на Чернобыльской АЭС, жители радиоактивно загрязненных территорий, специализированная медицинская помощь.

### Введение

8 декабря 1999 г. в Москве был подписан договор о создании Союзного государства (далее – Договор) и принята Программа действий Республики Беларусь и Российской Федерации по реализации положений Договора. 26 января 2000 г. Договор вступил в силу после его ратификации парламентами двух стран. Договором (статья 18) определено, что одним из важных направлений совместной деятельности Российской Федерации и Республики Беларусь являются совместные действия в области экологической безопасности, предупреждения природных и техногенных катастроф и ликвидации их последствий, в том числе последствий аварии на Чернобыльской АЭС (далее – ЧАЭС) [1].

В связи со значительным числом граждан Российской Федерации и Республики Беларусь, пострадавших в результате крупномасштабной аварии на ЧАЭС, органы управления Союзного государства, прежде всего Парламент Союзного государства, его Постоянный комитет, включили в число приоритетных задач своей деятельности мероприятия по развитию учреждений здравоохранения обеих стран для оказания специализированной медицинской помощи различным категориям населения, отнесенным к группам лиц, пострадавших в результате аварии на ЧАЭС.

Об актуальности и масштабе последствий чернобыльской катастрофы для населения Российской Федерации можно судить по количеству пострадавших в аварии. В частности, по данным 2015 г. в Национальном радиа-

ционно-эпидемиологическом регистре состоит на учете 710 697 человек, в том числе отдельно по группам первичного учета зарегистрировано: 197 123 ликвидатора последствий аварии на ЧАЭС, 7332 эвакуированных, 446 994 проживающих (проживавших) на радиоактивно загрязненных территориях Брянской, Калужской, Орловской и Тульской областей, 40 467 детей ликвидаторов и 18 781 отселенный [2].

Одной из основных групп риска среди лиц, подвергшихся радиационному воздействию вследствие Чернобыльской катастрофы, являются участники ликвидации аварии на Чернобыльской атомной электростанции (далее – участники ЛПА на ЧАЭС), непосредственно участвовавшие в мероприятиях по ликвидации последствий аварии на ЧАЭС (военнослужащие, сотрудники МВД России, гражданский персонал, командированный в зону катастрофы).

ФГБУ ВЦЭРМ им. А.М. Никифорова МЧС России (далее – ВЦЭРМ), созданный 12 сентября 1991 г. как Всероссийский центр экологической медицины для оказания медицинской помощи пострадавшим в аварии на ЧАЭС и вошедший в 1997 г. в структуру МЧС России, имеет большой опыт оказания специализированной медицинской помощи ЛПА на ЧАЭС, а также другим категориям граждан РФ, пострадавшим в аварии на ЧАЭС.

За весь период работы ВЦЭРМ на его базе прошло диагностическое обследование, лечение, экспертизу и медицинскую реабилитацию более 25 000 человек из

**Рыбников Виктор Юрьевич**

Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины им. А.М. Никифорова

**Адрес для переписки:** 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 4/2, E-mail: medicine@nrcerm.ru

числа пострадавших в аварии на ЧАЭС. При выполнении работ клиницистами и учеными ВЦЭРМ был выполнен ряд научных и научно-практических работ по разработке и внедрению новых технологий (методик, протоколов, схем лечения и др.) оказания медицинской помощи пострадавшим в аварии на ЧАЭС. Результаты работы обобщены в целом ряде коллективных монографий, подготовленных в виде руководств для врачей.

В настоящей статье представлен опыт и особенности организации и оказания специализированной и высокотехнологичной медицинской помощи пострадавшим в аварии на ЧАЭС в рамках мероприятий Союзного государства на базе ВЦЭРМ.

### Обсуждение

В результате мониторинга медицинских последствий чернобыльской катастрофы были определены основные классы болезней и нозологические формы болезней, уровни заболеваемости которыми выше у ЛПА на ЧАЭС и граждан, проживающих (проживавших) на радиационно-загрязненных территориях Российской Федерации, что необходимо учитывать при оказании специализированной медицинской помощи. К числу таких классов заболеваний относятся злокачественные новообразования, болезни эндокринной системы, сердечно-сосудистые и цереброваскулярные заболевания, болезни желудочно-кишечного тракта, легких, глаза и его придаточного аппарата и др. [2, 3].

Среди участников ЛПА на ЧАЭС как наиболее пострадавшей категории населения, по сравнению с контрольной группой, отмечается опережающий рост заболеваемости злокачественными новообразованиями щитовидной железы, легкого, желудка, кожи, мочевого пузыря. Анализ онкологической заболеваемости ликвидаторов (контроль – фоновая заболеваемость мужского населения России) показал статистически значимое увеличение частоты заболеваемости ликвидаторов всеми типами солидного рака на 18% [2].

Заболеваемость раком щитовидной железы у участников ЛПА на Чернобыльской АЭС, работавших в 30-километровой зоне, превышает спонтанный уровень более чем в 5 раз. Непрерывный мониторинг за состоянием здоровья ЛПА на ЧАЭС и населения, проживающего на радиоактивно загрязненных территориях, свидетельствует о росте заболеваемости раком щитовидной железы, особенно папиллярной его формой.

Средний уровень заболеваемости лейкозами участников ЛПА на ЧАЭС на 71% превышает уровень заболеваемости мужчин в России [2].

У участников ЛПА на ЧАЭС отмечается значительно более высокий уровень сердечно-сосудистой заболеваемости по сравнению с остальным населением. В настоящее время в среднем на одного участника ЛПА на ЧАЭС приходится 2,3 случая зарегистрированных заболеваний системы кровообращения. По современным данным, их заболеваемость в 4 раза выше, чем у мужского населения России [4].

Эпидемиологические исследования свидетельствуют о том, что у участников ЛПА на ЧАЭС в отдаленном периоде болезни системы кровообращения занимают первое место в структуре заболеваемости и являются доминирующей причиной инвалидности и смертности. Установлено,

что заболеваемость участников ЛПА на ЧАЭС патологией системы кровообращения за последние 10 лет выросла в 3,2 раза. Ежегодный рост заболеваемости ишемической болезнью сердца, в том числе острым инфарктом миокарда, составляет 3,9% [4].

Хроническая сердечная недостаточность выявлена практически у каждого пятого участника ЛПА на Чернобыльской АЭС, при этом основной причиной ее развития явилась гипертоническая болезнь [4].

В отдаленном периоде среди участников ЛПА на ЧАЭС наблюдается значительный рост заболеваемости цереброваскулярными болезнями, ежегодное увеличение которых в среднем составляет 6% [5].

Опыт длительного динамического наблюдения за состоянием здоровья участников ЛПА на ЧАЭС в отдаленном периоде свидетельствует о том, что болезни органов пищеварения в структуре заболеваемости занимают третье место и составляют 11%, превышая общероссийские показатели почти в 3,7 раза, а заболеваемость гепатобилиарной системы превышает общероссийские показатели в 1,7 раза [3].

Среди ликвидаторов ежегодно в среднем на 6% растет заболеваемость катарактой, что необходимо учитывать при планировании объемов специализированной медицинской помощи ЛПА на ЧАЭС.

Стойкая утрата трудоспособности установлена более чем у 50% участников ЛПА на ЧАЭС, среди которой преобладает II группа инвалидности. Наиболее часто в качестве причин инвалидности выступают болезни системы кровообращения (55%) и болезни нервной системы (12%).

В структуре причин смертности участников ЛПА на ЧАЭС преобладают болезни системы кровообращения и новообразования.

В настоящее время состояние здоровья участников ЛПА на ЧАЭС и граждан, проживающих (проживавших) на радиоактивно загрязненных территориях, характеризуется наличием у каждого человека из указанных категорий 12,5 различных заболеваний. При этом 3–4 из них являются основными и требуют систематического лечения. Однако Программой государственных гарантий оказания гражданам Российской Федерации бесплатной медицинской помощи предусмотрено лечение только одного заболевания.

Наличие клинической полиморбидности определяет необходимость стабилизации соматического состояния и лечения терапевтической патологии перед выполнением сложных оперативных вмешательств при оказании высокотехнологичной медицинской помощи и после него.

Накопленный ВЦЭРМ опыт реализации мероприятий по минимизации медицинских последствий аварии на ЧАЭС позволил выявить особенности организации и оказания специализированной медицинской помощи участникам ЛПА на ЧАЭС.

Пострадавшим в аварии на ЧАЭС требуется оказание не только специализированной медицинской помощи при различных заболеваниях терапевтического профиля, но и специализированных и высокотехнологичных видов медицинской помощи хирургического профиля, а также проведение ранней медицинской реабилитации в послеоперационном периоде или после тяжелых заболеваний – последствий острых нарушений церебральной гемодинамики или острого коронарного синдрома.

Основным принципом в реализации мер медицинской защиты участников ЛПА на ЧАЭС в рамках программ и мероприятий Союзного государства является адресность и комплексность методов диагностики, лечения и реабилитации при оказании специализированной медицинской помощи.

Формирование адресного подхода при оказании специализированной медицинской помощи заключается в разработке и внедрении комплекса методов ранней диагностики, лечения и медицинской реабилитации пострадавших в аварии на ЧАЭС.

ВЦЭРМ более 25 лет активно принимает участие в оказании специализированной медицинской помощи участникам ЛПА на ЧАЭС преимущественно в рамках целевых программ Союзного государства (табл. 1).

В частности, в 2007–2010 гг. по «Программе совместной деятельности по преодолению последствий Чернобыльской катастрофы в рамках Союзного государства на 2006–2010 гг.» ВЦЭРМ в условиях круглосуточного стационара обследовал и пролечил 2535 участников ЛПА на ЧАЭС, в основном с соматической терапевтической патологией кардиологического, неврологического, гастроэнтерологического, эндокринологического и пульмонологического профиля.

В 2014–2016 гг. ВЦЭРМ в рамках «Программы совместной деятельности по преодолению последствий Чернобыльской катастрофы в рамках Союзного государства на период до 2016 года» оказал специализированную медицинскую помощь 4319 ЛПА на ЧАЭС и гражданам, проживающим (проживавшим) на радиоактивно загрязнен-

ных территориях Российской Федерации. Кроме лечения пациентов с соматической терапевтической патологией кардиологического, неврологического, гастроэнтерологического, эндокринологического и пульмонологического профиля, в рамках Программы проведены скрининговые обследования (скрининг онкопатологии желудочно-кишечного тракта, щитовидной железы, генетических нарушений и др.), а также оказана специализированная медицинская помощь пациентам с хирургической патологией и высокотехнологичная медицинская помощь. В структуре видов ВМП доминировали профили – сердечно-сосудистая патология, травматология и ортопедия.

В июне 2016 г. Программа Союзного государства была завершена, и принято решение о проведении ежегодно отдельного мероприятия (далее – Мероприятие) по лечению пострадавших в аварии на ЧАЭС.

В реализации Мероприятия Союзного государства по лечению пострадавших в аварии на ЧАЭС приняли участие три ведущих учреждения Российской Федерации и Республики Беларусь – ВЦЭРМ, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр радиологии» Минздрава РФ и Государственное учреждение «Республиканский научно-практический центр радиационной медицины и экологии человека» Республики Беларусь.

В 2016–2018 гг. ВЦЭРМ оказывал медицинскую помощь пострадавшим в аварии на Чернобыльской АЭС в рамках Мероприятия Союзного государства по оказанию комплексной медицинской помощи отдельным категориям граждан Беларуси и России, подвергшихся радиационному воздействию вследствие катастрофы на ЧАЭС.

Таблица 1

**Оказание специализированной медицинской помощи пострадавшим в аварии на Чернобыльской АЭС в ФГБУ ВЦЭРМ им. А.М. Никитова МЧС России в рамках целевых программ Союзного государства в период с 2007 по 2018 г.**

[Table 1]

**Providing specialized medical assistance to victims of the Chernobyl accident in the FSBI NRCERM EMERCOM of Russia in the framework of target programs of the Union State in the period 2007–2018]**

| Наименование мероприятия<br>Союзного государства<br>[Name of activity of the Union State]                                                                                                                                                                                                     | Срок<br>реализации<br>мероприятия<br>ВЦЭРМ<br>[Activity<br>implementation<br>period by<br>NRCERM] | Количество<br>пролеченных<br>пациентов<br>ВЦЭРМ<br>[Number of<br>cured patients<br>by NRCERM] | Нормативные документы<br>Союзного государства<br>по реализации мероприятия<br>[Normative documents of the Union State on the implementation of the activity]                                                                                                                                                |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| «Программа совместной деятельности по преодолению последствий Чернобыльской катастрофы в рамках Союзного государства на 2006 – 2010 годы»<br>[«The program of joint activities to overcome the consequences of the Chernobyl disaster within the framework of the Union State for 2006-2010»] | 2007–2010                                                                                         | 2535                                                                                          | Постановление Совета Министров Союзного государства от 26 сентября 2006 г. № 33<br>[The Union State Council of Ministers decree from 26.09.2006 № 33]                                                                                                                                                       |
| «Программа совместной деятельности по преодолению последствий Чернобыльской катастрофы в рамках Союзного государства на период до 2016 года»<br>[«The program of joint activities to overcome the consequences of the Chernobyl disaster within the Union state for the period up to 2016»]   | 2014–2016                                                                                         | 4319                                                                                          | Постановление Совета Министров Союзного государства от 13 декабря 2013 г. № 21.<br>[The Union State Council of Ministers decree from 13.12.2013 № 21<br>The order of EMERCOM of Russia from 23.06.2014 № 311<br>«About implementation of the Union State Council of Ministers decree from 13.12.2013 № 21»] |

| Наименование мероприятия<br>Союзного государства<br>[Name of activity of the Union State]                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Срок<br>реализации<br>мероприятия<br>ВЦЭРМ<br>[Activity<br>implementa-<br>tion period by<br>NRCERM] | Количество<br>пролеченных<br>пациентов<br>ВЦЭРМ<br>[Number of<br>cured patients<br>by NRCERM] | Нормативные документы<br>Союзного государства<br>по реализации мероприятия<br>[Normative documents of the Union State on the implementa-<br>tion of the activity]                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| «Оказание комплексной медицин-<br>ской помощи отдельным категориям<br>граждан Беларуси и России, под-<br>вергшихся радиационному воздей-<br>ствию вследствие катастрофы на<br>Чернобыльской АЭС, в 2016 году»<br>[«Rendering of integrated medical<br>care to certain categories of citizens of<br>Belarus and Russia, radiation affected<br>as a consequence of the Chernobyl<br>disaster in 2016»] | 2016                                                                                                | 753                                                                                           | <p>Постановление Совета министров Союзного государства от 12 мая 2016 года № 26 «О проведении в 2016 году мероприятия Союзного государства «Оказание комплексной медицинской помощи отдельным категориям граждан Беларуси и России, подвергшихся радиационному воздействию вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС».</p> <p>Положение о мероприятии Союзного государства «Оказание комплексной медицинской помощи отдельным категориям граждан Беларуси и России, подвергшихся радиационному воздействию вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС», утвержденное первым заместителем министра здравоохранения Республики Беларусь Д.Л. Пиневиным 04.01.2017, статс-секретарем – заместителем министра здравоохранения РФ Д.В. Костенниковым 21.12.2016, заместителем Министра МЧС России О.В. Баженовым 21.11.2016.</p> <p>Сводная смета расходов средств бюджета Союзного государства на проведение в 2016 году мероприятия Союзного государства, утвержденная Министерством здравоохранения Республики Беларусь и Российской Федерации, МЧС России и согласованная государственным секретарем Союзного государства Г.А. Рапотов 20.06.2016.</p> <p>[The Union State Council of Ministers decree from 12.05.2016 № 26 «About carrying out in 2016 of action of the Union state «Rendering of integrated medical care to certain categories of citizens of Belarus and Russia, radiation affected as a consequence of the Chernobyl disaster»</p> <p>Regulation on the action of the Union State «Rendering of integrated medical care to certain categories of citizens of Belarus and Russia, radiation affected as a consequence of the Chernobyl disaster», approved by the first Deputy Minister of Health of the Republic of Belarus D.L.Pinevich 04.01.2017, State Secretary-Deputy Minister of Health of the Russian Federation D.V.Kostennikov 21.12.2016, Deputy Minister of EMERCOM of Russia O.V.Bazhenov 21.11.2016.</p> <p>Consolidated budget estimates of the Union State for the 2016 action of the Union State, approved by the Ministries of Health of the Republic of Belarus and the Russian Federation, EMERCOM of Russia and agreed by the Secretary of state of the Union State G.A.Rapota 20.06.2016.]</p> |
| «Оказание комплексной медицин-<br>ской помощи отдельным категориям<br>граждан Беларуси и России, под-<br>вергшихся радиационному воздей-<br>ствию вследствие катастрофы на<br>Чернобыльской АЭС, в 2017 году»<br>[«Rendering of integrated medical<br>care to certain categories of citizens of<br>Belarus and Russia, radiation affected<br>as a consequence of the Chernobyl<br>disaster in 2017»] | 2017                                                                                                | 871                                                                                           | <p>Положение о мероприятии Союзного государства «Оказание комплексной медицинской помощи отдельным категориям граждан Беларуси и России, подвергшихся радиационному воздействию вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС», утвержденное первым заместителем министра здравоохранения Республики Беларусь Д.Л. Пиневиным 04.01.2017, статс-секретарем – заместителем министра здравоохранения РФ Д.В. Костенниковым 21.12.2016, заместителем министра МЧС России О.В. Баженовым 21.11.2016.</p> <p>Сводная смета расходов средств бюджета Союзного государства на проведение в 2017 году мероприятия Союзного государства, утвержденная Министерством здравоохранения Республики Беларусь и Российской Федерации, МЧС России и согласованная государственным секретарем Союзного государства Г.А. Рапотов 24.04.2017.</p> <p>[Regulation on the action of the Union State «Rendering of integrated medical care to certain categories of citizens of Belarus and Russia, radiation affected as a consequence of the Chernobyl disaster», approved by the first Deputy Minister of Health of the Republic of Belarus D.L. Pinevich 04.01.2017,</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |

| Наименование мероприятия<br>Союзного государства<br>[Name of activity of the Union State]                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Срок<br>реализации<br>мероприятия<br>ВЦЭРМ<br>[Activity<br>implementa-<br>tion period by<br>NRCERM] | Количество<br>пролеченных<br>пациентов<br>ВЦЭРМ<br>[Number of<br>cured patients<br>by NRCERM] | Нормативные документы<br>Союзного государства<br>по реализации мероприятия<br>[Normative documents of the Union State on the implementa-<br>tion of the activity]                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| «Оказание комплексной медицин-<br>ской помощи отдельным категориям<br>граждан Беларуси и России, под-<br>вергшихся радиационному воздей-<br>ствию вследствие катастрофы на<br>Чернобыльской АЭС, в 2018 году»<br>[«Rendering of integrated medical<br>care to certain categories of citizens of<br>Belarus and Russia, radiation affected<br>as a consequence of the Chernobyl<br>disaster in 2018»] | 2018                                                                                                | 1084                                                                                          | State Secretary-Deputy Minister of Health of the Russian Federation D.V. Kostennikov 21.12.2016, Deputy Minister of EMERCOM of Russia O.V.Bazhenov 21.11.2016.<br>Consolidated budget estimates of the Union State for the 2017 action of the Union State, approved by the Ministries of Health of the Republic of Belarus and the Russian Federation, EMERCOM of Russia and agreed by the Secretary of state of the Union State G.A.Rapota 24.04.2017.]<br>Положение о мероприятии Союзного государства «Оказание комплексной медицинской помощи отдельным категориям граждан Беларуси и России, подвергшихся радиационному воздействию вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС», утвержденное первым заместителем Министра здравоохранения Республики Беларусь Д.Л. Пиневиным 28.02.2018, статс-секретарем – заместителем Министра здравоохранения РФ Д.В. Костенниковым 26.03.2018, заместителем министра МЧС России С.А. Кададовым 12.02.2018.<br>Сводная смета расходов средств бюджета Союзного государства на проведение в 2018 году мероприятия Союзного государства, утвержденная Министерством здравоохранения Республики Беларусь и Российской Федерации, МЧС России и согласованная государственным секретарем Союзного государства Г.А. Рапотой 18.04.2018.<br>[Regulation on the action of the Union State «Rendering of integrated medical care to certain categories of citizens of Belarus and Russia, radiation affected as a consequence of the Chernobyl disaster», approved by the first Deputy Minister of Health of the Republic of Belarus D.L. Pinevich 28.02.2018, State Secretary-Deputy Minister of Health of the Russian Federation D.V. Kostennikov 26.03.2018, Deputy Minister of EMERCOM of S.A.Kadadov 12.02.2018.<br>Consolidated budget estimates of the Union State for the 2018 action of the Union State, approved by the Ministries of Health of the Republic of Belarus and the Russian Federation, EMERCOM of Russia and agreed by the Secretary of state of the Union State G.A. Rapota 18.04.2018.] |

Отличительными особенностями деятельности ВЦЭРМ в рамках программ и мероприятий Союзного государства в период 2014–2018 гг. явились:

- проведение комплексной диагностики и лечения не только участников ЛПА на ЧАЭС, но и гражданах Российской Федерации, проживающих (проживавших) на радиоактивно загрязненных территориях;
- оказание не только специализированной медицинской помощи при различных заболеваниях терапевтического профиля, но и специализированных и высокотех-

нологических видов медицинской помощи хирургического профиля, а также медицинской реабилитации с использованием лечебно-диагностической базы новой многопрофильной клиники № 2 ВЦЭРМ (клиника высокотехнологичной медицинской помощи), принявшей первых пациентов в 2012 г.

Виды и объемы оказанной на базе ВЦЭРМ медицинской помощи пострадавшим в аварии на Чернобыльской АЭС представлены в таблице 2.

Таблица 2

**Виды и объемы медицинской помощи, оказанные по Программам и Мероприятиям Союзного государства, пострадавшим в аварии на Чернобыльской АЭС в ФГБУ ВЦЭРМ им. А.М. Никитина за период 2014–2018 гг., чел.**

[Table 2]

**Types and amounts of medical assistance provided by the Programs and Activities of the Union State to the victims of the Chernobyl accident in the FSBI NRCERM for the period 2014-2018, pers.]**

| Виды медицинской помощи<br>[Types of medical assistance]                     | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018<br>(план)<br>[plan] | Итого<br>[Total] |
|------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|--------------------------|------------------|
| Амбулаторно-поликлиническая<br>[Outpatient-polyclinic]                       | 1245 | 885  | 810  | –    | –                        | 2940             |
| Дневной стационар<br>[Day-patient treatment]                                 | –    | –    | 60   | 219  | 250                      | 529              |
| Специализированная медицинская<br>помощь<br>[Specialized medical assistance] | 489  | 254  | 727  | 487  | 601                      | 2558             |
| Высокотехнологичная медицинская<br>помощь<br>[High-tech medical assistance]  | 109  | 55   | 169  | 81   | 131                      | 545              |
| Медицинская реабилитация<br>[Medical rehabilitation]                         | 45   | 40   | 184  | 84   | 102                      | 455              |
| Итого<br>[Total]                                                             | 1888 | 1234 | 1950 | 871  | 1084                     | 7027             |

Организация оказания медицинской помощи данным контингентам требует проведения работ по сбору информационно-аналитических данных о нуждаемости в специализированной медицинской помощи в амбулаторно-поликлинических условиях, специализированной, в том числе высокотехнологичной и реабилитационной медицинской помощи, в условиях круглосуточного и дневного стационаров.

С этой целью ВЦЭРМ были разработаны и проведены следующие мероприятия:

- сбор и анализ информационно-аналитических данных в Национальном радиационно-эпидемиологическом регистре и его региональных представительствах;
- рассылка информационных писем главам субъектов Российской Федерации и руководителям министерств и департаментов здравоохранения субъектов Российской Федерации, руководителям региональных центров и главных управлений МЧС России с последующим анализом полученных данных;
- отбор пациентов на оказание медицинской помощи в соответствии с нормативной базой Союзного государства, включающей Положение о мероприятии, Положение о порядке отбора граждан, перечень категорий граждан, пострадавших в аварии на ЧАЭС.

Медицинская помощь, оказываемая в амбулаторно-поликлинических условиях, включала консультации врачей-специалистов, комплекс лабораторно-инструментальных методов исследования, направленный на выявление онкологической патологии различной локализации, цереброваскулярных и генетических нарушений, сердечно-сосудистых заболеваний, сахарного диабета, лечение в условиях дневного стационара, а также углубленное догоспитальное обследование для оказания специализированной и высокотехнологичной медицинской помощи в условиях круглосуточного стационара.

Специализированная терапевтическая медицинская помощь в условиях круглосуточного стационара с исполь-

зованием передовых медицинских технологий оказывалась пациентам с различной соматической патологией, включая заболевания сердечно-сосудистого, неврологического, пульмонологического, гастроэнтерологического и эндокринологического профиля. При оказании специализированной медицинской помощи пациентам с соматической патологией особое внимание уделялось диагностике, фармакологической коррекции с учетом сопутствующей патологии, профилактике осложнений.

Специализированную хирургическую медицинскую помощь в условиях круглосуточного стационара оказывали с использованием передовых медицинских технологий, не относящихся к высокотехнологичной медицинской помощи. При оказании специализированной хирургической помощи особое внимание уделялось диагностике, индивидуальному подбору анестезиологического пособия с учетом имеющейся множественной сопутствующей терапевтической патологии, преимущественному минимизированному эндоскопическому хирургическому вмешательству и профилактике послеоперационных осложнений.

Высокотехнологичная медицинская помощь оказалась востребованной по таким профилям, как сердечно-сосудистая хирургия, травматология и ортопедия, урология, офтальмология, онкология, нейрохирургия и трансплантация.

Медицинская реабилитация в условиях круглосуточного стационара проводилась пациентам после оперативных вмешательств при оказании высокотехнологичной медицинской помощи, перенесшим острый инфаркт миокарда, острое нарушение мозгового кровообращения, имеющим последствия различных травм позвоночника, костей, мышц и связочного аппарата. Медицинская реабилитация осуществлялась с применением высокотехнологичных, дорогостоящих методов, таких как импульсное магнитное поле, криотерапия локальная с одномоментной электростимуляцией, терапевтическая лазеро-све-

тодидная терапия, а также с использованием роботизированной механотерапии и прикладной кинезотерапии.

Работы по совершенствованию и практическому внедрению согласованных лечебно-диагностических методов потребовали создания единых унифицированных стандартов оказания специализированной медицинской помощи участникам ЛПА на ЧАЭС.

Лечебно-диагностические стандарты оказания специализированной медицинской помощи включали:

- медицинские мероприятия для диагностики заболевания, состояния (приемы специалистов, перечень лабораторных и инструментальных методов исследования);
- медицинские услуги для лечения заболевания, состояния и контроля за лечением (прием, осмотр, консультация и наблюдение врача-специалиста; наблюдение и уход за пациентом средним и младшим медицинским персоналом; перечень лабораторных и инструментальных методов исследования);
- перечень лекарственных препаратов с указанием средних суточных и курсовых доз;
- виды лечебного питания, включая специализированные продукты лечебного питания.

Разработаны и внедрены в практическую деятельность учреждений здравоохранения, оказывающих медицинскую помощь участникам ЛПА на ЧАЭС, стандарты оказания медицинской помощи лицам, страдающим хронической обструктивной болезнью легких, хроническими формами ишемической болезни сердца, дисциркуляторной энцефалопатией, хроническим гастритом, дуоденитом, дискинезией желчевыводящих путей и сахарным диабетом. Указанные стандарты по объему медицинских диагностических и лечебных мероприятий, перечню лекарственных средств превышают возможности Программы государственных гарантий оказания гражданам Российской Федерации бесплатной медицинской помощи. Это определяет целесообразность оказания специализированной медицинской помощи ЛПА на ЧАЭС и гражданам, проживающим (проживавшим) на радиоактивно загрязненных территориях, в рамках Программ и Мероприятий Союзного государства по указанным стандартам.

Организационно-методические особенности оказания медицинской помощи ЛПА на ЧАЭС отражены в разработанных сотрудниками ВЦЭРМ методических рекомендациях, а теоретические и научно-практические основы и особенности диагностики и лечения участников ЛПА на ЧАЭС отражены в коллективной монографии, подготовленной как руководство для врачей [5].

### Заключение

Медицинскими особенностями пострадавших в аварии на ЧАЭС являются клиническая полиморбидность, наличие 12 и более нозологических форм заболеваний, ведущими из которых являются сердечно-сосудистые, нервной и эндокринной систем. Показатели заболева-

емости, инвалидизации и смертности среди пострадавших в аварии на ЧАЭС превышают аналогичные в целом по Российской Федерации.

Пострадавшим в аварии на ЧАЭС требуется оказание не только специализированной медицинской помощи при соматической патологии терапевтического профиля, но и специализированных и высокотехнологичных видов медицинской помощи хирургического профиля, а также ранней медицинской реабилитации в послеоперационном периоде или после тяжелых заболеваний – последствия острых нарушений церебральной гемодинамики или острого коронарного синдрома.

Организация оказания специализированной медицинской помощи пострадавшим в аварии на ЧАЭС должна включать информационный блок по сбору информационно-аналитических данных о нуждаемости в специализированной и особенно высокотехнологичной медицинской помощи, методический модуль, предусматривающий применение передовых медицинских технологий и расширенных стандартов оказания специализированной медицинской помощи, а также лечения нескольких нозологических форм заболеваний.

Специализированную медицинскую помощь пациентам, пострадавшим от радиационных катастроф, в рамках целевых программ Союзного государства (Россия – Беларусь) целесообразно осуществлять сверх Программы государственных гарантий оказания гражданам Российской Федерации бесплатной медицинской помощи с адресным использованием комплекса методов профилактики, диагностики, лечения и реабилитации в соответствии с перечнем заболеваний, связанных с последствиями чернобыльской катастрофы.

### Литература

1. Официальный сайт Постоянного Комитета Союзного государства: <http://www.postkomsg.com/> / (дата обращения: 27.09.2018 г.).
2. Медицинские радиологические последствия Чернобыля: прогноз и фактические данные спустя 30 лет / под общ. ред. чл.-корр. РАН В.К. Иванова, чл.-корр. РАН А.Д. Каприна. – М.: ГЕОС, 2015. – 450 с.
3. Алексанин, С.С. 25 лет после Чернобыля: состояние здоровья, патогенетические механизмы / С.С. Алексанин [и др.] // Опыт медицинского сопровождения ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской атомной электростанции (Руководство для врачей). – СПб.: Медкнига «ЭЛБИ-СПб», 2011. – 736 с.
4. Захарченко, М.П. Радиация, экология, здоровье / М.П. Захарченко, С.С. Алексанин, Г.Н. Клинецвич. – 3-е изд., доп. и перераб. – СПб.: Крисмас +, 2016. – 664 с.
5. 30 лет после Чернобыля: патогенетические механизмы формирования соматической патологии, опыт медицинского сопровождения участников ликвидации последствий аварии на Чернобыльской атомной электростанции / под ред. проф. С.С. Алексанина. – СПб.: Политехника-принт, 2016. – 506 с.

Поступила: 01.10.2018 г.

**Алексанин Сергей Сергеевич** – доктор медицинских наук, профессор, заслуженный врач Российской Федерации, директор Всероссийского центра экстренной и радиационной медицины им. А.М. Никифорова Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий России, Санкт-Петербург, Россия

**Рыбников Виктор Юрьевич** – доктор медицинских наук, доктор психологических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, заместитель директора (по научной и учебной работе) Всероссийского центра экстренной и радиационной медицины им. А.М. Никифорова Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий России. **Адрес для переписки:** 194044, Россия, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 4/2; E-mail: medicine@nrcerm.ru

**Рогалев Константин Константинович** – доктор медицинских наук, главный врач клиники № 1, заместитель директора по клинической работе Всероссийского центра экстренной и радиационной медицины им. А.М. Никифорова Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий России, Санкт-Петербург, Россия

**Гудзь Юрий Владимирович** – кандидат медицинских наук, доцент, заслуженный врач РФ, заведующий отделом травматологии и ортопедии Всероссийского центра экстренной и радиационной медицины им. А.М. Никифорова Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий России, Санкт-Петербург, Россия

**Дударенко Сергей Владимирович** – доктор медицинских наук, доцент, заслуженный врач РФ, заведующий отделом терапии и интегративной медицины Всероссийского центра экстренной и радиационной медицины им. А.М. Никифорова Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий России, Санкт-Петербург, Россия

**Для цитирования:** Алексанин С.С., Рыбников В.Ю., Рогалев К.К., Гудзь Ю.В., Дударенко С.В. Специализированная и высокотехнологичная медицинская помощь пострадавшим в аварии на Чернобыльской АЭС в рамках мероприятий Союзного государства // Радиационная гигиена. – 2018. – Т. 11, № 4. – С. 89-97. DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-4 -89-97

---

### Specialized and high-tech medical assistance to the victims of the accident at the Chernobyl NPP in the framework of the Union State

Sergey S. Aleksanin, Viktor Yu. Rybnikov, Konstantin K. Rogalev, Yuriy V. Gudz, Sergey V. Dudarenko

The Nikiforov Russian Center of Emergency and Radiation Medicine EMERCOM of Russia, St. Petersburg, Russia

*This paper presents the experience and features of the organization and provision of specialized and high-tech medical care to victims of the Chernobyl accident in the framework of the activities of the Union State in the Nikiforov Russian Center of Emergency and Radiation Medicine EMERCOM of Russia. It reveals the features of the morbidity, disability and mortality of the injured in the accident at the Chernobyl nuclear power plant. The paper presents the data on the types and amount of medical assistance provided to victims of the Chernobyl accident for the period from 2007 to 2018 as well as the features of the organization of rendering specialized, including hi-tech, medical assistance and medical rehabilitation to participants of liquidation of consequences of the Chernobyl accident and inhabitants of the radioactively contaminated territories.*

**Key words:** the Union State, liquidators of accident at the Chernobyl NPP, inhabitants of the radioactively contaminated territories, specialized medical assistance

---

**Viktor Yu. Rybnikov**

The Nikiforov Russian Center of Emergency and Radiation Medicine, EMERCOM of Russia

**Address for correspondence:** Academica Lebedeva Str., 4/2, St. Petersburg, 194044, Russia; E-mail: medicine@nrcerm.ru

## References

1. Official web-site of the Permanent Committee of the Common State. – Available on: [http:// \[www.postkomsg.com\]](http://www.postkomsg.com/) / (Accessed: September 27, 2018) (In Russian)
2. Medical radiological consequences of Chernobyl: prediction and real data after 20 years. Edited by corr. Member of Russian Academy of Sciences V.K. Ivanov, corr. Member of Russian Academy of Sciences A.D. Kaprin. Moscow, GEOS, 2015, 450 p.
3. Aleksanin S.S. [et al.] 25 years after Chernobyl: health condition and pathogenetic mechanisms. Experience of the medical follow-up of the liquidators of the consequences of the Chernobyl NPP accident (guidebook for the physicians). St.Petersburg, Medkniga «ELBI-SPb», 2011, 736 p.
4. Zakharchenko M.P., Aleksanin S.S., Klintsevich G.N. Radiation, ecology, health (3d edition, complemented and reworked). St.Petersburg, Krismas +, 2016, 664 p.
5. 30 years after Chernobyl: Pathogenetic mechanisms of development of somatic pathology, experience of medical assistance for participants of liquidation of accident aftermath at the Chernobyl nuclear power plant. Edited by S.S. Aleksanin. St.Petersburg, Politekhnik-a-print, 2016, 506 p.

Received: October 01, 2018

**Sergey S. Aleksanin** – Dr. Med. Sc., Professor, Director of The Nikiforov Russian Center of Emergency and Radiation Medicine EMERCOM of Russia, St. Petersburg, Russia

**For correspondence: Viktor Yu. Rybnikov** – Dr. Med. Sc., Professor, Deputy Director for Research and Education of The Nikiforov Russian Center of Emergency and Radiation Medicine EMERCOM of Russia (Academica Lebedeva Str., 4/2, St. Petersburg, 194044, Russia; E-mail: [medicine@nrcerm.ru](mailto:medicine@nrcerm.ru))

**Konstantin K. Rogalev** – Dr. Med Sc., Deputy Director for Clinical work of The Nikiforov Russian Center of Emergency and Radiation Medicine EMERCOM of Russia, St. Petersburg, Russia

**Yuriy V. Gudz** – Head of the Department for Traumatology and Orthopedics, Dr. Med. Sc., Associate Professor of The Nikiforov Russian Center of Emergency and Radiation Medicine EMERCOM of Russia, St. Petersburg, Russia

**Sergey V. Dudarenko** – Head of the Department for Therapy and Integrative Medicine, Dr. Med. Sc., Associate Professor of The Nikiforov Russian Center of Emergency and Radiation Medicine EMERCOM of Russia, St. Petersburg, Russia

**For citation: Aleksanin S.S., Rybnikov V.Yu., Rogalev K.K., Gudz Yu.V., Dudarenko S.V. Specialized and high-tech medical assistance to the victims of the accident at the Chernobyl NPP in the framework of the Union State. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene, 2018, Vol. 11, No. 4, pp.89-97. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-4-89-97**

## Итоги функционирования Единой государственной системы контроля и учета индивидуальных доз облучения граждан Российской Федерации по данным за 2017 г.

А.Н. Барковский<sup>1</sup>, Руслан Р. Ахматдинов<sup>1</sup>, Рустам Р. Ахматдинов<sup>1</sup>, Н.К. Барышков<sup>1</sup>, А.М. Библин<sup>1</sup>, А.А. Братилова<sup>1</sup>, В.Е. Журавлева<sup>2</sup>, Т.А. Кормановская<sup>1</sup>, С.И. Кувшинников<sup>3</sup>, И.К. Романович<sup>1</sup>, А.Г. Сивенков<sup>2</sup>, О.Е. Тутельян<sup>3</sup>, А.Г. Цовьянов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 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

<sup>2</sup> Государственный научный центр Российской Федерации — Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна, Москва, Россия

<sup>3</sup> Федеральный центр гигиены и эпидемиологии, Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Москва, Россия

*В статье представлены результаты анализа сведений о дозах техногенного облучения персонала и населения за счет нормальной эксплуатации радиационных объектов, облучения населения за счет природных источников и техногенно-измененного радиационного фона и медицинского облучения пациентов, полученных по данным Единой государственной системы контроля и учета индивидуальных доз облучения граждан РФ за 2017 г. Анализ выполнен на основе данных, содержащихся в формах государственного статистического наблюдения № 1-ДОЗ, № 2-ДОЗ, № 3-ДОЗ и № 4-ДОЗ за 2017 г., представленных организациями и территориями, государственный санитарно-эпидемиологический надзор за которыми осуществляется Роспотребнадзором и ФМБА России. В статье использованы также данные, полученные в рамках радиационно-гигиенической паспортизации. В 2017 г. 18 324 организации, осуществляющие обращение с техногенными источниками ионизирующего излучения, представили формы № 1-ДОЗ, содержащие сведения о дозах облучения персонала общей численностью 235 271 человек, из которых 215 290 человек — персонал группы А и 19 981 человек — персонал группы Б, для которого дозы получены по результатам индивидуального дозиметрического контроля. По данным Единой государственной системы контроля и учета индивидуальных доз облучения граждан РФ, средняя индивидуальная годовая эффективная доза техногенного облучения персонала группы А в 2017 г. составила 1,23 мЗв, а персонала группы Б — 0,67 мЗв. Формы № 3-ДОЗ, содержащие сведения о дозах медицинского облучения пациентов за 2017 г., представили 13 036 медучреждений. Общее число рентгенодиагностических процедур, проведенных в Российской Федерации в 2017 г., составило более 286 миллионов. Средняя годовая эффективная доза медицинского облучения в расчете на одного жителя России в 2017 г. составила 0,55 мЗв, а на одну рентгенодиагностическую процедуру — 0,28 мЗв. В представленных формах № 4-ДОЗ субъектов Российской Федерации за 2017 г. содержатся результаты 8130 измерений мощности дозы гамма-излучения в деревянных домах, 1557 измерений в малоэтажных каменных домах, 126 550 измерений в многоэтажных каменных домах и 178 138 измерений на открытой местности, а также результаты 4417 измерений уровней содержания радона в деревянных домах, 5971 измерений в малоэтажных каменных домах и 57 461 измерение в многоэтажных каменных домах. Средняя годовая эффективная доза облучения жителей Российской Федерации за счет природных источников по данным всех измерений за период с 2001 по 2017 г. составила 3,34 мЗв, а средние значения для субъектов Российской Федерации лежат в диапазоне от 2,15 мЗв (Ненецкий АО) до 8,9 мЗв (Республика Алтай). В статье даны Приложения с итоговыми формами Единой государственной системы контроля и учета индивидуальных доз облучения граждан РФ за 2017 г., полученными на основе обобщения информации, содержащейся в формах государственного статистического наблюдения № 1-ДОЗ, 3-ДОЗ и 4-ДОЗ субъектов Российской Федерации.*

**Ключевые слова:** годовые эффективные дозы облучения, природное облучение, медицинское облучение, техногенное облучение, персонал, пациенты, население, единая государственная система контроля индивидуальных доз.

**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

## Введение

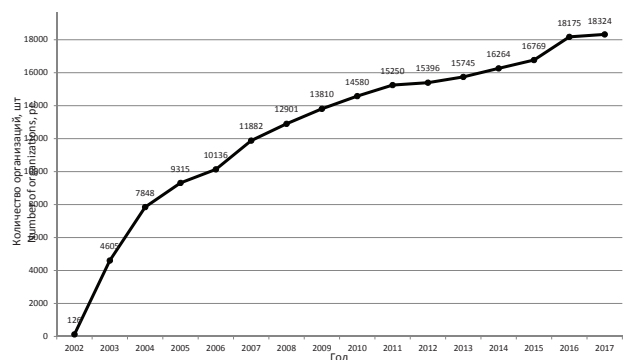
В соответствии с Федеральным законом «О радиационной безопасности населения», начиная с 2001 г., в Российской Федерации функционирует Единая государственная система контроля и учета индивидуальных доз облучения граждан (ЕСКИД).

Сбор данных ЕСКИД осуществляется ежегодно по формам федерального статистического наблюдения № 1-ДОЗ, № 2-ДОЗ, № 3-ДОЗ и № 4-ДОЗ [1–3].

Результаты анализа информации о дозах техногенного, медицинского и природного облучения населения публикуются в ежегодных информационных сборниках «Дозы облучения населения Российской Федерации» (далее – Сборник) [4–19]. В настоящей статье приводятся результаты анализа данных ЕСКИД, полученных в 2017 г., по результатам которого подготовлен и издан ежегодный информационный сборник «Дозы облучения населения Российской Федерации в 2017 году» (далее – Сборник). В него впервые включены данные о радиационных объектах и медучреждениях, обслуживаемых ФМБА России, что позволило заметно повысить представительность представленных в Сборнике данных по дозам облучения населения России.

### 1. Сведения о дозах облучения лиц из персонала в условиях нормальной эксплуатации источников ионизирующих излучений (форма № 1-ДОЗ)

Общее число организаций, представивших форму № 1-ДОЗ за 2017 г., составило 18 324, из которых 14 288 (78%) – медицинские учреждения. Необходимо отметить, что при анализе данных за 2016–2017 гг. впервые учитывались данные, представленные не только радиационными объектами, надзор за которыми осуществляет Роспотребнадзор, но и радиационными объектами, обслуживаемыми ФМБА России. Это позволило значительно увеличить объем получаемых данных и сделать их более представительными. На рисунке 1 представлены данные о численности организаций, формы № 1-ДОЗ которых использовались для подготовки Сборника в различные годы. Как видно из рисунка 1, число таких организаций постоянно увеличивается.

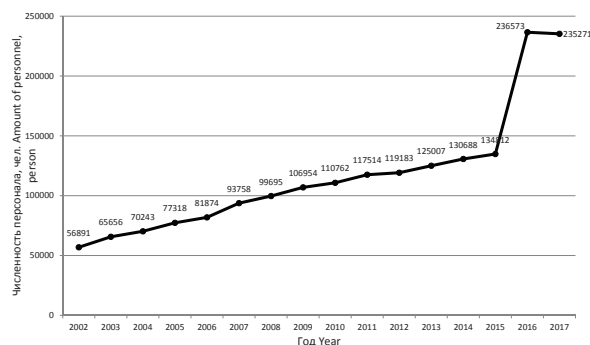


**Рис. 1.** Динамика количества организаций, формы федерального государственного статистического наблюдения № 1-ДОЗ которых использовались при подготовке Сборника за 2002–2017 гг.

[Fig. 1. Dynamics of number of facilities submitting form № 1-DOZ in the Federal Databank of Rospotrebnadzor from 2002 to 2017]

Численность персонала организаций, представивших отчеты по форме № 1-ДОЗ за 2017 г. в Федеральный банк данных Роспотребнадзора, составила 144 732 человека, из которых 131 898 человек – персонал группы А и 12 834 – персонал группы Б, дозы облучения которого получены по данным инструментального контроля. С учетом данных о 583 радиационных объектах, обслуживаемых ФМБА России, общая численность персонала, сведения о дозах облучения которого включены в Сборник, составляет 235 271 человек, из которых 215 290 человек – персонал группы А и 19 981 человек – персонал группы Б.

На рисунке 2 представлены данные по динамике численности персонала, данные о котором включены в Сборник за период с 2002 по 2017 г.



**Рис. 2.** Динамика численности персонала, данные о котором включены в Сборник с 2002 по 2017 г.

[Fig. 2. The dynamics of staff count, for which the annual individual doses are submitted in Federal Databank of staff doses from 2002 to 2017]

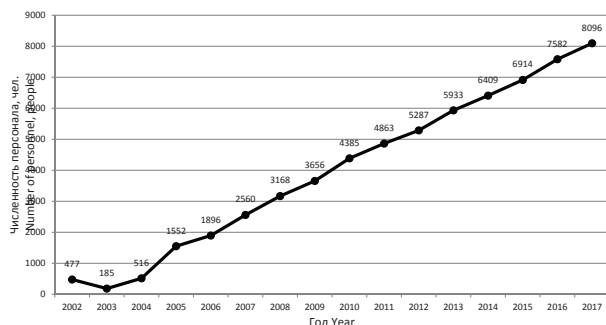
Как видно из представленных результатов, по сравнению с данными за 2015 г. численность персонала, включенного в Сборник в 2016 и 2017 гг., возросла более чем на 70 тыс. человек, что объясняется включением в него данных по персоналу группы А радиационных объектов, обслуживаемых ФМБА России.

Фактическая численность персонала, индивидуальные дозы облучения которого отражены в формах № 1-ДОЗ, меньше, поскольку лица, совмещающие свою работу в нескольких организациях, учитываются в этих формах несколько раз. Анализ данных, представленных в виде форм № 1-ДОЗ в ФБД ДОП, показал, что количество работников, осуществляющих работу с техногенными источниками ионизирующего излучения по совместительству на нескольких радиационных объектах, в 2017 г. составило 8096 человек. Проведенный анализ показал, что средняя индивидуальная доза в этой группе персонала, с учетом всех мест их работы, составила 2 мЗв/год, что в 1,6 раза превышает среднюю дозу всего персонала группы А Российской Федерации. При этом в ряде случаев суммарная индивидуальная годовая эффективная доза совместителей превышает 20 мЗв/год.

На рисунке 3 представлены данные о динамике численности персонала, совмещающего работу на нескольких радиационных объектах.

Коллективная эффективная доза техногенного облучения персонала, данные о котором включены в Сборник, за счет нормальной эксплуатации радиационных объектов составила в 2017 г. 277,4 чел.-Зв, из которых 264,0 чел.-Зв приходится на персонал группы А. Это со-

ставляет менее 0,03% от коллективной дозы населения Российской Федерации за счет всех источников ионизирующего излучения.



**Рис. 3.** Численность персонала, работающего по совместительству на нескольких радиационных объектах  
[Fig. 3. The number of staff working part-time on several different radiation facilities]

Средняя годовая индивидуальная эффективная доза техногенного облучения персонала в 2017 г. составила 1,23 мЗв для персонала группы А и 0,67 мЗв для персонала группы Б.

Но, к сожалению, эти данные все еще не отражают полную картину техногенного облучения персонала на

территории Российской Федерации. В таблице 1 представлены данные о количестве радиационных объектов и численности персонала группы А радиационных объектов, надзор за которыми осуществляют органы государственного надзора Минобороны России, МВД России, ФСБ России, ФСИН России и Управления делами Президента России, приведенные в радиационно-гигиенических паспортах России за 2015 [20], 2016 [21] и 2017 [22] гг.

С учетом того, что данные о численности персонала АЭС и «прочих особо радиационно опасных» радиационных объектов фигурируют и в РГП России, и в РГП ФМБА, невозможно получить представление об общем количестве персонала простым сложением. Тем не менее, исключив из данных Роспотребнадзора информацию по АЭС и «прочим особо радиационно опасным» радиационным объектам, можно получить приемлемую оценку полных данных.

Проведенная с учетом выше изложенного оценка показала, что в Сборнике до 2015 г. включительно не учитывались данные примерно о 5,3 тыс. радиационных объектах и о 120 тыс. человек персонала группы А, т.е. почти 50% всего персонала.

Для решения данной проблемы в Сборник за 2016 и 2017 гг. были включены данные по дозам облучения персонала группы А на радиационных объектах, обслуживае-

Таблица 1

**Количество радиационных объектов и численность персонала группы А ведомств, по данным радиационно-гигиенических паспортов России за 2015–2017 гг.**

[Table 1]

**The number of radiation facilities and the number group A staff for each agency, according to the data of radiation hygienic passports of Russia for 2015 – 2017]**

| Ведомство<br>[Agency]                                                                    | Число радиационных объектов<br>[The number of radiation facilities] |               |               | Численность персонала группы А<br>[The number of group A staff] |                |                |
|------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|---------------|---------------|-----------------------------------------------------------------|----------------|----------------|
|                                                                                          | 2015                                                                | 2016          | 2017          | 2015                                                            | 2016           | 2017           |
| Роспотребнадзор<br>[Rospotrebnadzor]                                                     | 20 295                                                              | 20 463        | 21 119        | 186 734                                                         | 192 262        | 198 611        |
| ФМБА России<br>[FMBA RF]                                                                 | 543                                                                 | 556           | 557           | 81 794                                                          | 80 979         | 81 075         |
| МО России<br>[Russian Defense Ministry]                                                  | 835                                                                 | 1 199         | 879           | 14 600                                                          | 15 434         | 15 051         |
| МВД России<br>[Ministry of Internal Affairs of Russia]                                   | 295                                                                 | 212           | 215           | 1 144                                                           | 925            | 972            |
| ФСБ России<br>[FSB of Russia]                                                            | 179                                                                 | 214           | 232           | 1 163                                                           | 1 021          | 1326           |
| ФСИН России<br>[FSIN of Russia]                                                          | –                                                                   | 67            | 67            | –                                                               | 1 335          | 1 383          |
| УДП России<br>[Administrative Directorate of the<br>President of the Russian Federation] | 34                                                                  | 35            | 34            | 600                                                             | 699            | 725            |
| <b>ВСЕГО<br/>[Total]</b>                                                                 | <b>22 181</b>                                                       | <b>22 746</b> | <b>23 103</b> | <b>286 035</b>                                                  | <b>292 625</b> | <b>299 143</b> |
| Включено в Сборник<br>[Included in Information bulletin]                                 | 16 769                                                              | 17 552        | 18 324        | 123 404                                                         | 210 516        | 215 290        |
| АЭС + ОРО*<br>[NPP + ORO*]                                                               | 76                                                                  | 54            | 52            | 42 993                                                          | 42 235         | 42 022         |
| Не включено в Сборник<br>[Not included in Information bulletin]                          | 5 336                                                               | 5 140         | 4 727         | 119 638                                                         | 39 874         | 41 831         |

\*ОРО – особо радиационно-опасные радиационные объекты  
[\*ORO – particularly radiation hazardous facilities].

мых ФМБА России. Это позволило значительно повысить представительность этих данных. Но по-прежнему остаются неучтенными данные о примерно 40 тыс. человек (21%) персонала группы А, причем около 25 тыс. – это неучтенный персонал группы А радиационных объектов, надзор за которыми осуществляет Роспотребнадзор. Т.е. имеются серьезные резервы для повышения представительности данных, и необходимо улучшить работу по сбору форм № 1-ДОЗ.

Структура индивидуальных доз техногенного облучения персонала группы А в 2017 г., полученная по результатам радиационно-гигиенической паспортизации и по данным ЕСКИД, приведена в таблице 2. Для обеспечения сравнимости данных в ней представлены данные ЕСКИД и радиационно-гигиенического паспорта России за 2017 г. только для радиационных объектов, надзор за которыми осуществляет Роспотребнадзор. Из данных радиационно-гигиенического паспорта России исключена информация об АЭС и о «прочих особо радиационно-опасных радиационных объектах». Как видно из представленных данных, количество данных ЕСКИД по радиационным объектам, надзор за которыми осуществляет Роспотребнадзор, все еще заметно меньше данных радиационно-гигиенической паспортизации. Это объясняется как отсутствием индивидуального дозиметрического контроля для заметного количества персонала группы А, так и неполным представлением формы № 1-ДОЗ радиационными объектами.

Более подробные сведения о дозах облучения персонала радиационных объектов приведены в обобщенной форме № 1-ДОЗ Российской Федерации за 2017 г., представленной в Приложении 1.

## 2. Сведения о дозах облучения пациентов при проведении медицинских рентгенорадиологических исследований (форма № 3-ДОЗ)

Поступление информации в федеральный банк данных по дозам медицинского облучения населения (ФБДМ) обеспечивается на основе ежегодного заполнения и представления в установленном порядке формы федерального статистического наблюдения № 3-ДОЗ всеми организациями, осуществляющими диагностические исследования пациентов с использованием источников ионизирующего излучения во всех 85 субъектах Российской Федерации.

В 2017 г. при составлении Сборника учтены данные форм № 3-ДОЗ, представленных 13 229 медучреждениями, в том числе 193 медучреждениями, обслуживаемыми ФМБА России. Суммарное количество диагностических рентгенорадиологических процедур, проведенных в этих медучреждениях в 2017 г., составило 286,3 миллиона, в том числе 5,7 миллиона в медучреждениях, обслуживаемых ФМБА России, из них почти 73% получены по результатам инструментальных измерений. Коллективная доза медицинского облучения составила 80,6 тыс. чел.-Зв, в том числе 1590 чел.-Зв за счет медучреждений, обслуживаемых ФМБА России. Это всего около 2% коллективной дозы медицинского облучения, но это более чем в 5 раз больше коллективной дозы техногенного облучения населения России за счет нормальной эксплуатации всех радиационных объектов и превышает коллективную дозу населения России за счет радиоактивного загрязнения территорий в результате глобальных выпадений и всех прошлых радиационных аварий. Т.е. учет медицинского облучения в медучреждениях, обслуживаемых ФМБА

Дозы облучения персонала группы А по данным ЕСКИД и радиационно-гигиенической паспортизации за 2017 г.

Таблица 2

[Table 2]

### Effective doses of group A staff according to USIDC and radiation-hygienic passportization for 2017]

| Показатели<br>[Criteria]                                                                                  | ЕСКИД<br>[USIDC] | РГП России<br>[Radiation-hygiene<br>passportization] |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------------------------------------------|
| Численность персонала группы А<br>[Amount of group A staff]                                               | 131 898          | 156 589                                              |
| 0–1 мЗв/год<br>[0–1 mSv/year]                                                                             | 62,2%            | 61,5%                                                |
| 1–2 мЗв/год<br>[1–2 mSv/year]                                                                             | 30,5%            | 27,3%                                                |
| 2–5 мЗв/год<br>[2–5 mSv/year]                                                                             | 5,6%             | 8,3%                                                 |
| В том числе имеющего годовую индивидуальную<br>дозу в диапазоне<br>[with individual dose in the range of] |                  |                                                      |
| 5–12,5 мЗв/год<br>[5–12,5 mSv/year]                                                                       | 1,5%             | 2,5%                                                 |
| 12,5–20 мЗв/год<br>[12,5–20 mSv/year]                                                                     | 0,19%            | 0,37%                                                |
| 20–50 мЗв/год<br>[20–50 mSv/year]                                                                         | 0,02             | 0,03%                                                |
| > 50 мЗв/год<br>[> 50 mSv/year]                                                                           | –                | –                                                    |
| Средняя индивидуальная доза, мЗв/год<br>[Average individual dose, mSv/year]                               | 1,07             | 1,24                                                 |
| Годовая коллективная доза, чел.-Зв/год<br>[Annual Collective dose, manSv/year]                            | 140,6            | 194,6                                                |

России, впервые осуществленный в Сборнике за 2017 г., достаточно важен. В дальнейшем необходимо учесть и вклад в дозу медицинского облучения медучреждений, надзор за которыми осуществляют органы госсанэпиднадзора Минобороны России, МВД России, ФСБ России, ФСИН России и Управления делами Президента России. По данным радиационно-гигиенической паспортизации, в них ежегодно проводится около 9,2 млн рентгенорадиологических диагностических процедур, коллективная доза медицинского облучения пациентов за счет которых составляет около 2,6 тыс. чел.-Зв.

В таблице 3 представлены данные по изменению процента измеренных доз медицинского облучения при проведении рентгенодиагностических процедур за период с 2011 по 2017 г. Как видно, процент измеренных доз из года в год возрастает. Тем не менее, более 27% доз медицинского облучения пациентов все еще оцениваются расчетными методами, и этот процент практически не менялся в последние 3 года. И хотя средние значения расчетных и измеренных доз в настоящее время близки (табл. 4), что объясняется тем, что в качестве табулированных значений расчетных доз принимаются средние измеренные дозы за предшествующий год, но использование расчет-

ных доз снижает достоверность получаемых результатов и нивелирует реальные изменения этих величин.

На рисунке 4 представлена динамика количества проведенных рентгенорадиологических процедур, а на рисунке 5 – динамика коллективной дозы медицинского облучения за период с 2013 по 2017 г. Как видно, количество рентгенорадиологических процедур за этот период увеличилось на 14,0%, а коллективная доза медицинского облучения – на 25,6%. Это является следствием развития рентгенодиагностики и широкого внедрения в последние годы компьютерной томографии – высокоинформативного, но и высокодозного метода рентгенодиагностики.

Количество проведенных компьютерных томографий за этот период возросло на 61%, а доза медицинского облучения за счет компьютерной томографии – на 81% и составляет на 2017 г. 50,4% от всей дозы медицинского облучения населения Российской Федерации.

С ростом числа компьютерных томографий связан и наметившийся рост средних доз медицинского облучения в расчете на одну процедуру и особенно в расчете на одного жителя. В таблице 5 представлены данные по динамике средних доз медицинского облучения за период 2013–2017 гг.

Таблица 3  
Изменение процента измеренных доз медицинского облучения при проведении рентгенодиагностических процедур

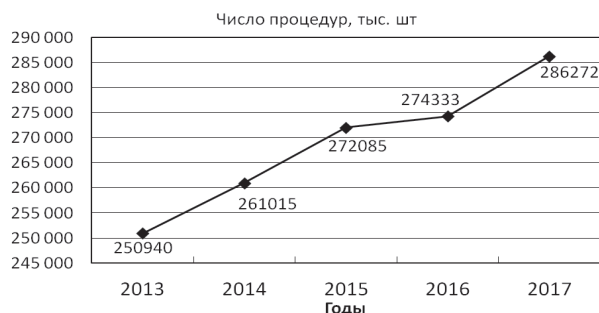
[Table 3]

| Change in the percentage of measured doses from x-ray examinations] |                                                                                                       |
|---------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Год<br>[Year]                                                       | Процент измеренных доз медицинского облучения<br>[Percentage of measured doses from medical exposure] |
| 2011                                                                | 53,7                                                                                                  |
| 2012                                                                | 60,7                                                                                                  |
| 2013                                                                | 64,4                                                                                                  |
| 2014                                                                | 68,4                                                                                                  |
| 2015                                                                | 72,6                                                                                                  |
| 2016                                                                | 72,9                                                                                                  |
| 2017                                                                | 73,0                                                                                                  |

Таблица 4  
Средние значения эффективных доз для различных рентгенодиагностических процедур, полученные по результатам измерений, и табулированные расчетные значения

[Table 4]

| Average values of the effective doses for various X-ray examinations based on measurements, and tabulated calculated values] |                                                   |                                                 |                                                    |                                                  |                                 |                                                  |                                                    |                   |                        |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------|------------------------|
| Средняя индивидуальная доза, мЗв/год<br>[Average individual dose, mSv/year]                                                  | Флюорография пленочная<br>[Analogue fluorography] | Флюорография цифровая<br>[Digital fluorography] | Рентгенография пленочная<br>[Analogue radiography] | Рентгенография цифровая<br>[Digital radiography] | Рентгеноскопия<br>[Fluoroscopy] | Компьютерная томография<br>[Computer tomography] | Специальные исследования<br>[Special examinations] | Прочие<br>[Other] | В среднем<br>[Average] |
| Расчетная<br>[Measured]                                                                                                      | 0,37                                              | 0,05                                            | 0,14                                               | 0,03                                             | 2,8                             | 3,9                                              | 5,3                                                | 4,3               | 0,21                   |
| Измеренная<br>[Calculated]                                                                                                   | 0,33                                              | 0,05                                            | 0,14                                               | 0,05                                             | 2,6                             | 3,9                                              | 5,7                                                | 1,7               | 0,30                   |



**Рис. 4.** Количество рентгенодиагностических процедур, данные о которых поступили в ФБДМ в период с 2013 по 2017 г.  
**[Fig.4.** Number of X-ray examinations, for which the data were submitted in the Federal Data Base of doses from medical exposure in 2013 – 2017]



**Рис. 5.** Коллективная доза медицинского облучения за счет рентгенодиагностических процедур, данные о которых поступили в ФБДМ в период с 2013 по 2017 г.  
**[Fig.5.** Collective dose from medical exposure due to X-ray procedures for which the data are submitted in the Federal Data Base in 2013 – 2017]

**Средние годовые эффективные дозы медицинского облучения в расчете на одного жителя и на одну рентгенодиагностическую процедуру, мЗв/год**

Таблица 5

**Average annual effective doses from medical exposure per inhabitant and per one X-ray examination, mSv/year**

[Table 5]

| Год<br>[Year]                                         | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 |
|-------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|
| СИД*, мЗв на жителя<br>[AAED*, mSv per inhabitant]    | 0,44 | 0,46 | 0,47 | 0,49 | 0,55 |
| СИД, мЗв на процедуру<br>[AAED*, mSv per examination] | 0,26 | 0,26 | 0,26 | 0,27 | 0,28 |

\* – средняя годовая эффективная доза медицинского облучения  
 [\* – average annual effective doses of medical exposure]

За период с 2013 по 2017 г. наблюдался рост числа рентгенографических и флюорографических исследований при постоянном снижении средних доз облучения за счет данных видов исследований, связанных с внедрением цифровой техники и постепенным вытеснением старого оборудования. Это замедлило рост средних доз в расчете на процедуру по сравнению со средней дозой на жителя. Но при дальнейшем развитии рентгенодиагностики и ПЭТ/КТ диагностики неизбежен рост средних и коллективных доз медицинского облучения населения. Важно не допустить необоснованного роста доз медицинского облучения.

Более подробная информация о медицинском облучении населения Российской Федерации приведена в форме № 3-ДОЗ Российской Федерации, представленной в Приложении 2.

*3. Сведения о дозах облучения населения за счет естественного и техногенно измененного радиационного фона (Форма № 4-ДОЗ)*

Отчетные формы № 4-ДОЗ за 2017 г. поступили из всех 85 субъектов Российской Федерации. Всего в Российской Федерации в 2017 г. было проведено 8130 измерений мощности амбиентной дозы (МАД) гамма-излучения в деревянных домах, 1557 измерений МАД в малоэтажных каменных домах, 126 550 измерений МАД в многоэтажных каменных домах и 178 138 измерений на

открытой местности на территории населенных пунктов.

Диапазон средних по регионам значений МАД на открытой местности на территории населенных пунктов в 2017 г. составил 0,04–0,19 мкЗв/ч, в деревянных зданиях – 0,07–0,21 мкЗв/ч, в каменных малоэтажных и многоэтажных зданиях – 0,06–0,19 мкЗв/ч и 0,05–0,22 мкЗв/ч соответственно.

Значения средних годовых эффективных доз внешнего терригенного облучения жителей субъектов Российской Федерации лежат в диапазоне от 0,40 мЗв/год (Республика Дагестан) до 1,25 мЗв/год (Забайкальский край).

В 2017 г. на территории Российской Федерации было проведено 4417 измерений уровней содержания радона в деревянных домах, 5971 измерение в малоэтажных каменных домах, 57 461 измерение в многоэтажных каменных домах.

Средние по регионам измеренные значения ЭРОА изотопов радона находятся в диапазоне: 7–94 Бк/м³ – для деревянных домов; 7–162 Бк/м³ – для одноэтажных каменных домов; 7–102 Бк/м³ – для многоэтажных каменных домов. Значения средних годовых эффективных доз внутреннего облучения жителей субъектов Российской Федерации за счет ингаляции изотопов радона и их ДПР лежат в диапазоне от 0,59 мЗв/год (Орловская область, Чукотский АО) до 9,26 мЗв/год (Ставропольский край).

Разделение субъектов Российской Федерации на регионы с «низкими» и «высокими» показателями уров-

ней внутреннего облучения населения за счет ингаляции изотопов радона и их ДПР является более заметным, чем при анализе значений мощности дозы гамма-излучения, из-за большей вариабельности значений ЭРОА изотопов радона в зданиях. Для отдельных жителей регионов или целых населенных пунктов эта вариабельность достигает иногда нескольких порядков.

По измерениям 2017 г. на территории России были выявлены группы населения, уровни содержания радона в домах которых значительно превышают как средние по регионам значения, так и установленные гигиенические нормативы. Группы населения с высокими дозами внутреннего облучения за счет ингаляции изотопов радона и их ДПР выявлены в 2017 г. на территории Республики Алтай, Иркутской и Челябинской областей, Ставропольского и Забайкальского краев и Еврейской АО. В таблице 6 приве-

дены данные о содержании радона в воздухе помещений некоторых представителей таких групп населения.

Как видно, приведенные данные значительно превышают гигиенические нормативы для жилых домов, но механизм оперативного решения данной проблемы в настоящее время отсутствует. С учетом достаточно широких масштабов данного явления и высоких доз облучения жителей, значительно превышающих максимальные дозы техногенного облучения персонала радиационных объектов, для эффективного и комплексного решения данной проблемы необходимо создание специальной федеральной целевой программы.

В 2017 г. на территории Российской Федерации было проведено 17 588 исследований уровней содержания природных радионуклидов (ПРН) в питьевой воде (табл. 7), которые выявили ряд проблем.

Таблица 6

**Адресные данные о выявленных в 2017 г. случаях существенных превышений гигиенического норматива по ЭРОА радона в жилых домах**

[Table 6]

**Address data on the cases of significant exceedance of the hygienic norm on radon equivalent equilibrium volume activity in residential houses, revealed in 2017]**

| Адрес<br>[Address]                                                                                                    | Тип<br>здания<br>[building type]  | Макс. ЭРОА радона, Бк/м <sup>3</sup><br>[Max radon equivalent equilibrium volume activity, Bq/m <sup>3</sup> ] |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Республика Алтай<br>[Altai Republic]                                                                                  |                                   |                                                                                                                |
| Турочакский р-н, н.п. Озеро-Куреево, ул. Центральная, д. 18<br>[Turochaksky district, Ozero-Kureevo, st. Central, 18] | МК<br>[multi-storey stone house]  | 1951                                                                                                           |
| Турочакский р-н, н.п. Тондошка, ул. Центральная, д. 21<br>[Turochaksky district, Tondoshka, st. Central, 18]          | 1К                                | 756                                                                                                            |
| Ставропольский край<br>[Stavropol region]                                                                             |                                   |                                                                                                                |
| Г. Пятигорск, ул. Акопянц, д. 4<br>[Pjatigorsk, st. Akopjanc, 4]                                                      | 1К<br>[one-storey stone building] | 718                                                                                                            |
| Иркутская область<br>[Irkutsk region]                                                                                 |                                   |                                                                                                                |
| Г. Усть-Илимск, ул. Рабочая, д. 9<br>[Ust'-Ilmsk, st. Rabochaja, 9]                                                   | МК<br>[multi-storey stone house]  | 1580                                                                                                           |

Таблица 7

**Информация о проведенных в 2017 г. исследованиях питьевой воды**

[Table 7]

**Information on drinking water examinations carried out in 2017]**

| Радионуклид<br>[Radionuclide]      | Количество исследований<br>[Number of examinations] | Диапазон удельной активности, мБк/кг<br>[Specific activity range, mBq / kg] |
|------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| <sup>226</sup> Ra                  | 1 075                                               | 0,1–348                                                                     |
| <sup>228</sup> Ra                  | 976                                                 | 0,1–390                                                                     |
| <sup>210</sup> Pb                  | 904                                                 | 0,5–126                                                                     |
| <sup>210</sup> Po                  | 1 062                                               | 0,2–35                                                                      |
| <sup>238</sup> U+ <sup>234</sup> U | 763                                                 | 1,0–974                                                                     |
| <sup>222</sup> Rn                  | 12 808                                              | 10–125 600                                                                  |

Даже среднее по региону значение удельной активности  $^{222}\text{Rn}$  в питьевой воде Челябинской области более чем в 2 раза превышает уровень вмешательства – 60 Бк/кг. В воде отдельных источников питьевого водоснабжения удельная активность  $^{222}\text{Rn}$  многократно превышает установленное нормативами пороговое значение. В п.г.т. Белые Росы и н.п. Вавиловец Сосновского района Челябинской области среднее значение удельной активности  $^{222}\text{Rn}$  в питьевой воде, по данным измерений 2017 г., превышает 500 и 225 Бк/кг соответственно, достигая для отдельных проб значения 1500 Бк/кг. Превышения уровня вмешательства по содержанию  $^{222}\text{Rn}$  в питьевой воде характерны и для ряда других районов Челябинской области – Чебаркульского, Карталинского, Уйского.

В н.п. Райгуба Кондопожского района Республики Карелия средняя удельная активность  $^{222}\text{Rn}$  в питьевой воде составляет 185 Бк/кг, в н.п. Вилга Прионежского района – 211 Бк/кг.

Результаты анализа данных определения содержания ПРН в воде подземных источников ряда населенных пунктов 7 районов восточной части Оренбургской области показали превышения удельной суммарной альфа-активности ПРН и значительные превышения удельной активности  $^{222}\text{Rn}$  в подземных водах. Причиной резкого увеличения ПРН в подземных водах региона стали, по мнению специалистов гидрометеорологических служб региона, тектонические и геологические процессы, происходящие в земной коре. При этом необходимо отметить, что единственным источником водоснабжения для населения этой части Оренбургской области являются подземные источники. Максимальные измеренные значения удельной активности  $^{222}\text{Rn}$  в артезианской воде составили 1830 Бк/кг (Адамовский район, п. Аниховка) и 1460 Бк/кг (Кваркенский район, с. Екатериновка). На основании результатов исследований специалистами ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева совместно с Управлением Роспотребнадзора по Оренбургской области разрабатываются предложения в проект программы «Чистая вода Оренбургской области» и адресная программа мероприятий по снижению доз облучения населения за счет потребления питьевой воды.

Наибольшие средние дозы внутреннего облучения за счет потребления питьевой воды в 2017 г., по данным ЕСКИД, имели место для жителей Алтайского края (0,31 мЗв/год).

Средние по субъектам Российской Федерации годовые эффективные дозы облучения населения за счет всех природных ИИИ за 2017 г. лежат в диапазоне от 2,15 мЗв/год (Ненецкий АО) до 8,87 мЗв/год (Республика Алтай).

Для жителей 6 субъектов Российской Федерации (Республика Алтай (8,87 мЗв), Забайкальский край (7,34 мЗв), Еврейская АО (6,66 мЗв), Ставропольский край (5,75 мЗв), Республика Тыва (5,61 мЗв) и Иркутская область (5,11 мЗв)), средние годовые эффективные дозы природного облучения в 2017 г. превышают 5 мЗв, т.е. являются повышенными в соответствии с ОСПОРБ-99/2010. Во всех приведенных случаях повышенные средние значения годовой дозы природного облучения жителей также обусловлены высокими уровнями содержания изотопов радона в воздухе помещений.

Средняя доза природного облучения населения Российской Федерации, оцененная по всей совокупности

имеющихся данных, составляет 3,34 мЗв/год. В структуре данной дозы более 59% приходится на долю дозы внутреннего облучения за счет ингаляции изотопов радона и их ДПР (1,98 мЗв/год), около 20% – на долю внешнего терригенного облучения (0,67 мЗв/год), чуть менее 12% вносит компонента космического излучения (0,40 мЗв/год), около 5% – внутреннее облучение за счет  $^{40}\text{K}$  (0,17 мЗв/год). Доля дозы внутреннего облучения за счет содержания природных радионуклидов в пищевой продукции и питьевой воды составляет около 5% (0,173 мЗв/год). Наименьший вклад в суммарную дозу облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения (менее 0,2%) вносит доза облучения за счет ингаляции долгоживущих природных радионуклидов с атмосферным воздухом (0,006 мЗв/год).

В Приложении 3 представлена обобщенная Форма № 4-ДОЗ Российской Федерации за 2017 г.

## Литература

1. Онищенко, Г.Г. Радиационно-гигиеническая паспортизация и ЕСКИД – информационная основа принятия управленческих решений по обеспечению радиационной безопасности населения Российской Федерации. Сообщение 1. Основные достижения и задачи по совершенствованию / Г.Г. Онищенко, А.Ю. Попова, И.К. Романович, А.Н. Барковский, Т.А. Кормановская, И.Г. Шевкун // Радиационная гигиена. – 2017. – Т.10, № 3. – С. 7–17.
2. Онищенко, Г.Г. Радиационно-гигиеническая паспортизация и ЕСКИД – информационная основа принятия управленческих решений по обеспечению радиационной безопасности населения Российской Федерации. Сообщение 2. Характеристика источников и доз облучения населения Российской Федерации / Г.Г. Онищенко, А.Ю. Попова, И.К. Романович, А.Н. Барковский, Т.А. Кормановская, И.Г. Шевкун // Радиационная гигиена. – 2017. – Т. 10, № 3. – С. 18–35.
3. Барковский, А.Н. Итоги функционирования единой государственной системы контроля и учета индивидуальных доз облучения граждан Российской Федерации по данным за 2015 г. // А.Н. Барковский, Р.Р. Ахматдинов, Н.К. Барышков, А.А. Братилова, Т.А. Кормановская, С.И. Кувшинников, Л.В. Репин, И.П. Стамат, О.Е. Тютельян // Радиационная гигиена. – 2016. – Т. 9, № 4. – С. 47–73.
4. Рамзаев, П.В. Дозы ионизирующего излучения у населения Российской Федерации в 1999 году: справочник / П.В. Рамзаев [и др.]. – СПб., 2001. – 29 с.
5. Барковский, А.Н. Дозы ионизирующего излучения у населения Российской Федерации в 2002 году: справочник / А.Н. Барковский [и др.]. – СПб., 2004. – 61 с.
6. Барковский, А.Н. Дозы облучения у населения Российской Федерации в 2003 году: справочник / А.Н. Барковский [и др.]. – СПб., 2004. – 59 с.
7. Барковский, А.Н. Дозы ионизирующего излучения у населения Российской Федерации в 2004 году: справочник / А.Н. Барковский, [и др.]. – СПб., 2005. – 61 с.
8. Барковский, А.Н. Дозы облучения населения Российской Федерации в 2005 году: справочник / А.Н. Барковский [и др.]. – СПб., 2006. – 39 с.
9. Барковский, А.Н. Дозы облучения населения Российской Федерации в 2006 году: справочник / А.Н. Барковский [и др.]. – СПб., 2007. – 61 с.
10. Барковский, А.Н. Дозы облучения населения Российской Федерации в 2007 году: информационный сборник / А.Н. Барковский [и др.]. – СПб., 2008. – 66 с.
11. Барковский, А.Н. Дозы облучения населения Российской Федерации в 2008 году: информационный сборник / А.Н. Барковский [и др.]. – СПб., 2009. – 69 с.

12. Барышков, Н.К. Дозы облучения населения Российской Федерации в 2009 году: информационный сборник / Н.К. Барышков [и др.]. – СПб., 2010. – 67 с.
13. Барышков, Н.К. Дозы облучения населения Российской Федерации в 2010 году: информационный сборник / Н.К. Барышков [и др.]. – СПб., 2011. – 62 с.
14. Барышков, Н.К. Дозы облучения населения Российской Федерации в 2011 году: информационный сборник / Н.К. Барышков [и др.]. – СПб., 2012. – 63 с.
15. Барышков, Н.К. Дозы облучения населения Российской Федерации в 2012 году: информационный сборник / Н.К. Барышков [и др.]. – СПб., 2013. – 67 с.
16. Репин, В.С. Дозы облучения населения Российской Федерации в 2013 году: информационный сборник / В.С. Репин [и др.]. – СПб., 2014. – 60 с.
17. Репин, В.С. Дозы облучения населения Российской Федерации по итогам функционирования ЕСКИД в 2002 – 2015 гг.: информационный сборник / В.С. Репин [и др.]. – СПб., 2015. – 40 с.
18. Барковский, А.Н. Дозы облучения населения Российской Федерации в 2015 году: информационный сборник / А.Н. Барковский [и др.]. – СПб., 2016. – 72 с.
19. Барковский, А.Н. Дозы облучения населения Российской Федерации в 2016 году: информационный сборник / А.Н. Барковский [и др.]. – СПб., 2017. – 78 с.
20. Шевкун, И.Г. Результаты радиационно-гигиенической паспортизации в субъектах Российской Федерации за 2015 год: Радиационно-гигиенический паспорт Российской Федерации / И.Г. Шевкун [и др.]. – М., 2016. – 125 с.
21. Шевкун, И.Г. Результаты радиационно-гигиенической паспортизации в субъектах Российской Федерации за 2016 год: Радиационно-гигиенический паспорт Российской Федерации / И.Г. Шевкун [и др.]. – М., 2017. – 126 с.
22. Шевкун, И.Г. Результаты радиационно-гигиенической паспортизации в субъектах Российской Федерации за 2017 год: Радиационно-гигиенический паспорт Российской Федерации / И.Г. Шевкун [и др.]. – М., 2018. – 134 с.

Поступила: 20.11.2018 г.

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

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

**Ахматдинов Рустам Расимович** – ведущий инженер-исследователь 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

**Барышков Николай Константинович** – 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, 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, Санкт-Петербург, Россия

**Братилова Анжелика Анатольевна** – научный сотрудник лаборатории внутреннего 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, Санкт-Петербург, Россия

**Журавлева Валентина Егоровна** – инженер Федерального медицинского биофизического центра имени А.И. Бурназяна Федерального медико-биологического агентства России, Москва, Россия

**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

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

**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, Санкт-Петербург, Россия

**Сивенков Александр Геннадьевич** – инженер Федерального медицинского биофизического центра имени А.И. Бурназяна Федерального медико-биологического агентства России, Москва, Россия

**Тутельян Ольга Евгеньевна** – кандидат медицинских наук, заведующая лабораторией радиационного контроля и физических факторов отдела лабораторного дела Федерального центра гигиены и эпидемиологии Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Москва, Россия

**Цовьянов Александр Георгиевич** – заведующий лабораторией Федерального медицинского биофизического центра имени А.И. Бурназяна Федерального медико-биологического агентства России, Москва, Россия

Для цитирования: Барковский А.Н., Ахматдинов Р.Р., Ахматдинов Р.Р., Барышков Н.К., Библин А.М., Братилова А.А., Журавлева В.Е., Кормановская Т.А., Кувшинников С.И., Романович И.К., Сивенков А.Г., Тутельян О.Е., Цовьянов А.Г. Итоги функционирования Единой государственной системы контроля и учета индивидуальных доз облучения граждан Российской Федерации по данным за 2017 г. // Радиационная гигиена. – 2018. – Т. 11, № 4. – С. 98-128. DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-4-98-128

## The results of functioning of the Unified System of Individual Dose Control of the Russian Federation citizens based on the 2017 data

Anatoly N. Barkovsky<sup>1</sup>, Ruslan R. Akhmatdinov<sup>1</sup>, Rustam R. Akhmatdinov<sup>1</sup>, Nikolay K. Baryshkov<sup>1</sup>, Artem M. Biblin<sup>1</sup>, Anzhelika A. Bratilova<sup>1</sup>, Valentina E. Zhuravleva<sup>2</sup>, Tatyana A. Kormanovskaya<sup>1</sup>, Sergey I. Kuvshinnikov<sup>3</sup>, Ivan K. Romanovich<sup>1</sup>, Aleksandr G. Sivenkov<sup>2</sup>, Olga E. Tutelyan<sup>3</sup>, Aleksandr G. Tsovyanov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>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

<sup>2</sup> State Research Center – A.I. Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of FMBA RF, Moscow, Russia

<sup>3</sup> Federal Center of Hygiene and Epidemiology, Federal Service for Surveillance on Consumer rights Protection and Human Well-Being, Moscow, Russia

*The article presents the results of the generalized analysis of the data on staff, patient, and public doses from ionizing radiation obtained from the Unified System of Individual Dose Control for 2017. The analysis is conducted on the basis of the annual data from the forms of Federal State Statistical. Observation No. 1-DOZ (staff individual doses), No. 2-DOZ (doses from radiation accidents), No. 3-DOZ (patient doses) and No. 4-DOZ (public doses from natural and technogenically impacted background). The information is submitted by the organizations and territories under the supervision of the Rospotrebnadzor and FMBA of the Russian Federation. The article is based on the data obtained within the framework of Radiation-Hygiene passportization. In 2017, 18 324 organizations working with the artificial radiation sources submitted the form No. 1-DOZ. The form No. 1-DOZ contains data on 235 271 staff individual doses, 215 290 of the staff group A and 19 981 the staff group B with individual monitoring. In 2017, the average individual dose for the staff group A was 1,23 mSv, the staff group B – 0,67 mSv. In 2017, 13 036 healthcare organizations submitted the form No. 3-DOZ. According to the No. 3-DOZ data, more than 286 mln. X-ray procedures were conducted in the Russian Federation in 2017. An average dose per capita from medical exposure was 0,55 mSv/year and a mean dose per an X-ray examination was 0,28 mSv. In 2017, the form No. 4-DOZ contained data on 8 130 measurements of gamma-radiation dose rate in wooden houses, 1 557 measurements in one-storey stone houses, 126 550 measurements in multi-storey stone houses and 178 138 measurements on the open ground. As well as the results of 4 417 measurements of radon concentration levels in wooden houses, 5 971 measurements in one-storey stone houses, 57 461 measurements in multi-storey stone houses. The public average effective dose from natural ionizing radiation sources corresponded to 3.34 mSv/year, the average values for the subjects of the Russian Federation fall in the range from 2,15 mSv/year (Nenets Autonomous Okrug) to 8,9 mSv/year (Altai republic). The article includes the Annexes with the final generalized forms of the Unified System of Individual Dose Control in 2017 based on the forms of statistical observations No. 1-, 3- and 4-DOZ of the subjects of the Russian Federation.*

**Key words:** annual effective doses, natural exposure, medical exposure, artificial exposure, personnel, patients, population, the Unified System of Individual Dose Control.

## References

1. Onishchenko G.G., Popova A.Yu., Romanovich I.K., Barkovsky A.N., Kormanovskaya T.A., Shevkun I.G. Radiation-hygienic passportization and USIDC-information basis for management decision making for radiation safety of the population of the Russian Federation. Report 1: Main achievements and challenges to improve. Radiatsionnaya gygiyena = Radiation Hygiene, 2017, Vol. 10, No. 3, pp. 7-17. (In Russian).
2. Onishchenko G.G., Popova A.Yu., Romanovich I.K., Barkovsky A.N., Kormanovskaya T.A., Shevkun I.G. Radiation-hygienic passportization and USIDC-information basis for management decision making for radiation safety of the population

**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

- of the Russian Federation. Report 2: characteristics of the sources and exposure doses of the population of the Russian Federation. Radiatsionnaya gygiena = Radiation Hygiene, 2017, Vol. 10, No. 3, pp. 18-35. (In Russian).
3. Barkovsky A.N., Akhmatdinov R.R., Baryshkov N.K., Bratilova A.A., Kormanovskaya T.A., Kuvshinnikov S.I., Repin L.V., Stamat I.P., Tutelyan O.E. The outcomes of functioning of the Unified System of Individual Dose Control of the Russian Federation citizens based on the 2015 data. Radiatsionnaya gygiena = Radiation Hygiene, 2016, Vol. 9, No 4, pp. 47-73. (In Russian).
  4. Ramzaev P.V., Barkovsky A.N., Baryshkov N.K., Bruk G.Ya., Titova T.N. Bulletin. Radiation exposure doses of the population of the Russian Federation in 1999, SPb., 2001, 29 p. (In Russian)
  5. Barkovsky A.N., Baryshkov N.K., Bruk G.Ya., Kormanovskaya T.A., Kuvshinnikov S.I., Lipatova O.V., Perminova G.S., Romanovich I.K., Stamat I.P., Tutelyan O.E. Bulletin. Radiation exposure doses of the population of the Russian Federation in 2002, SPb., 2004, 61 p. (In Russian)
  6. Barkovsky A.N., Baryshkov N.K., Kormanovskaya T.A., Kuvshinnikov S.I., Lipatova O.V., Perminova G.S., Repin V.S., Romanovich I.K., Stamat I.P., Tutelyan O.E. Bulletin. Radiation exposure doses of the population of the Russian Federation in 2003, SPb., 2004, 59 p. (In Russian)
  7. Barkovsky A.N., Baryshkov N.K., Kormanovskaya T.A., Kuvshinnikov S.I., Lipatova O.V., Perminova G.S., Repin V.S., Romanovich I.K., Stamat I.P., Tutelyan O.E. Bulletin. Radiation exposure doses of the population of the Russian Federation in 2004, SPb., 2005, 61 p. (In Russian)
  8. Barkovsky A.N. [et al.] Information Bulletin: Radiation exposure doses of the population of the Russian Federation in 2005, SPb., 2006, 39 p. (In Russian)
  9. Barkovsky A.N. [et al.] Information Bulletin: Radiation exposure doses of the population of the Russian Federation in 2006, SPb., 2007, 61 p. (In Russian)
  10. Barkovsky A.N. [et al.] Information Bulletin: Radiation exposure doses of the population of the Russian Federation in 2007, SPb., 2008, 66 p. (In Russian)
  11. Barkovsky A.N., Baryshkov N.K., Kormanovskaya T.A., Kuvshinnikov S.I., Lipatova O.V., Medvedev A.Yu., Perminova G.S., Repin V.S., Romanovich I.K., Stamat I.P., Timofeeva M.A., Tutelyan O.E. Information Bulletin: Radiation exposure doses of the population of the Russian Federation in 2008, SPb., 2009, 69 p. (In Russian)
  12. Baryshkov N.K., Kormanovskaya T.A., Kuvshinnikov S.I., Lipatova O.V., Medvedev A.Yu., Perminova G.S., Repin V.S., Romanovich I.K., Stamat I.P., Timofeeva M.A., Tutelyan O.E. Information Bulletin: Radiation exposure doses of the population of the Russian Federation in 2009, SPb., 2010, 67 p. (In Russian)
  13. Baryshkov N.K., Bratilova A.A., Kormanovskaya T.A., Kuvshinnikov S.I., Lipatova O.V., Matyukhin S.V., Medvedev A.Yu., Repin V.S., Romanovich I.K., Stamat I.P., Stepanov V.S., Tutelyan O.E. Information Bulletin: Radiation exposure doses of the population of the Russian Federation in 2010, SPb., 2011, 62 p. (In Russian)
  14. Baryshkov N.K., Bratilova A.A., Kormanovskaya T.A., Kuvshinnikov S.I., Lipatova O.V., Matyukhin S.V., Repin V.S., Stamat I.P., Stepanov V.S., Tutelyan O.E. Information Bulletin: Radiation exposure doses of the population of the Russian Federation in 2011, SPb., 2012, 63 p. (In Russian)
  15. Baryshkov N.K., Bratilova A.A., Kormanovskaya T.A., Kuvshinnikov S.I., Lipatova O.V., Matyukhin S.V., Repin V.S., Stamat I.P., Stepanov V.S., Tutelyan O.E. Information Bulletin: Radiation exposure doses of the population of the Russian Federation in 2012, SPb., 2013, 67 p. (In Russian)
  16. Repin V.S., Baryshkov N.K., Bratilova A.A., Kormanovskaya T.A., Kuvshinnikov S.I., Matyukhin S.V., Stamat I.P., Repin L.V., Akhmatdinov R.R., Stepanov V.S., Tutelyan O.E. Information Bulletin: Radiation exposure doses of the population of the Russian Federation in 2013, SPb., 2014, 60 p. (In Russian)
  17. Repin V.S., Baryshkov N.K., Bratilova A.A., Varfolomeeva K.V., Goncharova Yu.N., Kononenko D.V., Kormanovskaya T.A., Repin L.V., Romanovich I.K., Svetovidov A.V., Stamat I.P., Kuvshinnikov S.I., Matyukhin S.V., Stepanov V.S., Tutelyan O.E. Information Bulletin: Radiation exposure doses of the population of the Russian Federation according to the results of the USIDC in 2002-2015, SPb., 2015, 40 p. (In Russian)
  18. Barkovsky A.N. [et al.] Information Bulletin: Radiation exposure doses of the population of the Russian Federation in 2015, SPb., 2016, 72 p. (In Russian)
  19. Barkovsky A.N. [et al.] Information Bulletin: Radiation exposure doses of the population of the Russian Federation in 2016, SPb., 2017, 78 p. (In Russian)
  20. Shevkun I.G. [et al.] Results of radiation-hygienic passportization for 2015 (Radiation- Hygienic Passport of the Russian Federation). Moscow, 2016, 125 p. (In Russian).
  21. Shevkun I.G. [et al.] Results of radiation-hygienic passportization for 2016 (Radiation- Hygienic Passport of the Russian Federation). Moscow, 2017, 126 p. (In Russian).
  22. Shevkun I.G. [et al.] Results of radiation-hygienic passportization for 2017 (Radiation- Hygienic Passport of the Russian Federation). Moscow, 2016, 134 p. (In Russian).

Received: November 20, 2018

**For correspondence: Anatoly N. Barkovsky** – The 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, St. Petersburg, 197101, Russia; E-mail: ANBarkovski@yandex.ru).

**Ruslan R. Akhmatdinov** – Junior research fellow, Information-analytical center of the St. 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

**Rustam R. Akhmatdinov** – Leading research engineer, Information-analytical center of the St-Petersburg Institute of Radiation Hygiene after P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, St-Petersburg, Russia

**Nikolay K. Baryshkov** – Candidate of Technical Sciences, Leading research fellow of St. 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

**Artem M. Biblin** – Information Analytical Center Head, St. 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

**Anzhelika A. Bratilova** – Research fellow of Internal radiation laboratory of St. 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

**Valentina E. Zhuravleva** – Engineer, State Research Center – A. Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of FMBA RF, Moscow, Russia

**Tatyana A. Kormanovskaya** – Candidate of Biological Sciences, Senior Research Scientist, natural sources dosimetry laboratory of St. 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 I. Kuvshinnikov** – Radiation Control and Physical Factors Laboratory physicist expert, Laboratory Studies Department of Federal Hygiene and Epidemiology Center of Federal Service for Surveillance on Consumer rights Protection and Human Well-Being, Moscow, Russia

**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, Saint-Petersburg, Russia

**Aleksandr G. Sivenkov** – Engineer, State Research Center – A. Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of FMBA RF, Moscow, Russia

**Olga E. Tutelyan** – Candidate of Medical Sciences, Radiation Control and Physical Factors Laboratory Head, Federal Hygiene and Epidemiology Center Laboratory Studies, Moscow, Russia

**Aleksandr G. Tsovyanov** – Laboratory Head, State Research Center – A. Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of FMBA RF, Moscow, Russia

**For citation: Barkovsky A.N., Akhmatdinov R.R., Akhmatdinov R.R., Baryshkov N.K., Biblin A.M., Bratilova A.A., Zhuravleva V.E., Kormanovskaya T.A., Kuvshinnikov S.I., Romanovich I.K., Sivenkov A.G., Tutelyan O.E., Tsovyanov A.G. The results of functioning of the Unified System of Individual Dose Control of the Russian Federation citizens based on the 2017 data. Radiatsionnaya gygiena = Radiation Hygiene, 2018, Vol. 11, No. 4, pp.98-128. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-4-98-128**

# Приложение 1

## Обобщенная форма № 1-ДОЗ Российской Федерации за 2017 год

Распределение численности персонала группы А по диапазонам измеренных индивидуальных годовых эффективных доз производственного облучения за счет нормальной эксплуатации техногенных источников ионизирующего излучения в 2017 г.

| Код | Наименование субъекта РФ            | Количество персонала, чел | 0 - 1 мЗв/год | 1 - 2 мЗв/год | 2 - 5 мЗв/год | 5 - 12,5 мЗв/год | 12,5 - 20 мЗв/год | 20 - 50 мЗв/год | > 50 мЗв/год | Средняя индивидуальная доза, мЗв/год | Коллективная доза, чел·Зв/год |
|-----|-------------------------------------|---------------------------|---------------|---------------|---------------|------------------|-------------------|-----------------|--------------|--------------------------------------|-------------------------------|
| 01  | Республика Адыгея                   | 264                       | 233           | 30            | 1             |                  |                   |                 |              | 0,60                                 | 0,16                          |
| 02  | Республика Башкортостан             | 3042                      | 1995          | 756           | 177           | 111              | 2                 | 1               |              | 1,24                                 | 3,78                          |
| 03  | Республика Бурятия                  | 598                       | 198           | 283           | 113           | 4                |                   |                 |              | 1,44                                 | 0,86                          |
| 04  | Республика Алтай                    | 117                       | 69            | 37            | 11            |                  |                   |                 |              | 0,97                                 | 0,11                          |
| 05  | Республика Дагестан                 | 872                       | 768           | 51            | 33            | 18               | 2                 |                 |              | 0,77                                 | 0,67                          |
| 06  | Республика Ингушетия                | 129                       | 129           |               |               |                  |                   |                 |              | 0,38                                 | 0,05                          |
| 07  | Кабардино-Балкарская Республика     | 350                       | 341           | 9             |               |                  |                   |                 |              | 0,36                                 | 0,13                          |
| 08  | Республика Калмыкия                 | 201                       | 81            | 87            | 31            | 2                |                   |                 |              | 1,31                                 | 0,26                          |
| 09  | Карачаево-Черкесская республика     | 234                       | 129           | 100           | 5             |                  |                   |                 |              | 0,97                                 | 0,23                          |
| 10  | Республика Карелия                  | 628                       | 541           | 78            | 8             | 1                |                   |                 |              | 0,67                                 | 0,42                          |
| 11  | Республика Коми                     | 1076                      | 488           | 462           | 73            | 50               | 3                 |                 |              | 1,50                                 | 1,62                          |
| 12  | Республика Марий Эл                 | 383                       | 102           | 273           | 8             |                  |                   |                 |              | 1,15                                 | 0,44                          |
| 13  | Республика Мордовия                 | 504                       | 406           | 23            | 24            | 49               | 2                 |                 |              | 1,09                                 | 0,55                          |
| 14  | Республика Саха (Якутия)            | 1461                      | 1000          | 364           | 97            |                  |                   |                 |              | 0,88                                 | 1,29                          |
| 15  | Республика Северная Осетия - Алания | 422                       | 187           | 194           | 41            |                  |                   |                 |              | 1,14                                 | 0,48                          |
| 16  | Республика Татарстан                | 4766                      | 4068          | 587           | 94            | 17               |                   |                 |              | 0,74                                 | 3,54                          |
| 17  | Республика Тыва                     | 210                       | 126           | 68            | 15            | 1                |                   |                 |              | 0,96                                 | 0,20                          |
| 18  | Удмуртская Республика               | 1193                      | 963           | 184           | 35            | 8                | 3                 |                 |              | 0,82                                 | 0,98                          |
| 19  | Республика Хакасия                  | 355                       | 338           | 8             | 2             | 7                |                   |                 |              | 0,47                                 | 0,17                          |
| 20  | Чеченская Республика                | 252                       | 242           | 6             | 4             |                  |                   |                 |              | 0,59                                 | 0,15                          |
| 21  | Чувашская Республика                | 672                       | 501           | 153           | 15            | 2                | 1                 |                 |              | 0,93                                 | 0,63                          |
| 22  | Алтайский край                      | 1691                      | 1555          | 125           | 11            |                  |                   |                 |              | 0,68                                 | 1,15                          |
| 23  | Краснодарский край                  | 4186                      | 3514          | 499           | 111           | 55               | 7                 |                 |              | 0,82                                 | 3,43                          |
| 24  | Красноярский край                   | 6176                      | 4850          | 1083          | 189           | 50               | 3                 | 1               |              | 0,78                                 | 4,84                          |
| 25  | Приморский край                     | 2658                      | 1519          | 998           | 113           | 22               | 6                 |                 |              | 1,06                                 | 2,83                          |
| 26  | Ставропольский край                 | 1731                      | 1200          | 401           | 77            | 53               |                   |                 |              | 1,06                                 | 1,83                          |

| Код | Наименование субъекта РФ | Количество персонала, чел | 0 - 1 мЗв/год | 1 - 2 мЗв/год | 2 - 5 мЗв/год | 5 - 12,5 мЗв/год | 12,5 - 20 мЗв/год | 20 - 50 мЗв/год | > 50 мЗв/год | Средняя индивидуальная доза, мЗв/год | Коллективная доза, чел·Зв/год |
|-----|--------------------------|---------------------------|---------------|---------------|---------------|------------------|-------------------|-----------------|--------------|--------------------------------------|-------------------------------|
| 27  | Хабаровский край         | 1392                      | 727           | 378           | 270           | 16               | 1                 |                 |              | 1,26                                 | 1,75                          |
| 28  | Амурская область         | 790                       | 363           | 274           | 124           | 19               | 5                 | 5               |              | 1,65                                 | 1,30                          |
| 29  | Архангельская область    | 4186                      | 2579          | 1080          | 438           | 61               | 27                | 1               |              | 1,17                                 | 4,91                          |
| 30  | Астраханская область     | 974                       | 823           | 104           | 43            | 4                |                   |                 |              | 0,59                                 | 0,57                          |
| 31  | Белгородская область     | 1247                      | 1201          | 19            | 19            | 8                |                   |                 |              | 0,46                                 | 0,57                          |
| 32  | Брянская область         | 971                       | 620           | 350           | 1             |                  |                   |                 |              | 0,79                                 | 0,76                          |
| 33  | Владимирская область     | 796                       | 682           | 87            | 25            | 1                | 1                 |                 |              | 0,81                                 | 0,64                          |
| 34  | Волгоградская область    | 2053                      | 1274          | 699           | 48            | 31               | 1                 |                 |              | 0,83                                 | 1,70                          |
| 35  | Вологодская область      | 831                       | 211           | 508           | 97            | 15               |                   |                 |              | 1,50                                 | 1,25                          |
| 36  | Воронежская область      | 4782                      | 3831          | 492           | 346           | 100              | 13                |                 |              | 0,79                                 | 3,77                          |
| 37  | Ивановская область       | 694                       | 671           | 21            | 2             |                  |                   |                 |              | 0,51                                 | 0,36                          |
| 38  | Иркутская область        | 2680                      | 796           | 1430          | 428           | 22               | 4                 |                 |              | 1,48                                 | 3,96                          |
| 39  | Калининградская область  | 1050                      | 986           | 31            | 10            | 21               | 2                 |                 |              | 0,54                                 | 0,57                          |
| 40  | Калужская область        | 2010                      | 826           | 713           | 328           | 119              | 22                | 2               |              | 1,89                                 | 3,80                          |
| 41  | Камчатский край          | 654                       | 516           | 44            | 69            | 25               |                   |                 |              | 1,01                                 | 0,66                          |
| 42  | Кемеровская область      | 1941                      | 876           | 729           | 328           | 8                |                   |                 |              | 1,40                                 | 2,71                          |
| 43  | Кировская область        | 921                       | 813           | 79            | 19            | 10               |                   |                 |              | 0,73                                 | 0,67                          |
| 44  | Костромская область      | 389                       | 306           | 67            | 16            |                  |                   |                 |              | 0,69                                 | 0,27                          |
| 45  | Курганская область       | 862                       | 522           | 295           | 44            | 1                |                   |                 |              | 1,01                                 | 0,87                          |
| 46  | Курская область          | 5372                      | 3285          | 857           | 733           | 479              | 17                | 1               |              | 1,68                                 | 9,01                          |
| 47  | Ленинградская область    | 7573                      | 3332          | 2004          | 1419          | 601              | 217               |                 |              | 2,21                                 | 16,74                         |
| 48  | Липецкая область         | 1031                      | 827           | 178           | 24            | 2                |                   |                 |              | 0,65                                 | 0,67                          |
| 49  | Магаданская область      | 262                       | 201           | 44            | 11            | 6                |                   |                 |              | 0,83                                 | 0,22                          |
| 50  | Московская область       | 12796                     | 9627          | 2127          | 905           | 136              | 1                 |                 |              | 0,84                                 | 10,81                         |
| 51  | Мурманская область       | 4920                      | 3444          | 528           | 622           | 296              | 30                |                 |              | 1,31                                 | 6,46                          |
| 52  | Нижегородская область    | 4062                      | 3798          | 226           | 35            | 2                | 1                 |                 |              | 0,51                                 | 2,08                          |
| 53  | Новгородская область     | 503                       | 60            | 390           | 30            | 19               | 4                 |                 |              | 1,76                                 | 0,89                          |
| 54  | Новосибирская область    | 3620                      | 2386          | 797           | 385           | 49               | 3                 |                 |              | 1,11                                 | 4,01                          |
| 55  | Омская область           | 1537                      | 518           | 835           | 168           | 15               | 1                 |                 |              | 1,36                                 | 2,10                          |
| 56  | Оренбургская область     | 1807                      | 694           | 844           | 246           | 23               |                   |                 |              | 1,35                                 | 2,44                          |
| 57  | Орловская область        | 596                       | 420           | 116           | 56            | 4                |                   |                 |              | 1,02                                 | 0,61                          |

| Код | Наименование субъекта РФ        | Количество персонала, чел | 0 - 1 мЗв/год | 1 - 2 мЗв/год | 2 - 5 мЗв/год | 5 - 12,5 мЗв/год | 12,5 - 20 мЗв/год | 20 - 50 мЗв/год | > 50 мЗв/год | Средняя индивидуальная доза, мЗв/год | Коллективная доза, чел-Зв/год |
|-----|---------------------------------|---------------------------|---------------|---------------|---------------|------------------|-------------------|-----------------|--------------|--------------------------------------|-------------------------------|
| 58  | Пензенская область              | 912                       | 476           | 368           | 50            | 18               |                   |                 |              | 1,16                                 | 1,06                          |
| 59  | Пермский край                   | 3518                      | 1097          | 1660          | 458           | 201              | 91                | 11              |              | 2,25                                 | 7,90                          |
| 60  | Псковская область               | 502                       | 91            | 287           | 123           | 1                |                   |                 |              | 1,56                                 | 0,78                          |
| 61  | Ростовская область              | 8157                      | 6280          | 1577          | 257           | 40               | 3                 |                 |              | 0,54                                 | 4,44                          |
| 62  | Рязанская область               | 912                       | 860           | 36            | 16            |                  |                   |                 |              | 0,52                                 | 0,47                          |
| 63  | Самарская область               | 3329                      | 2201          | 1013          | 102           | 11               | 2                 |                 |              | 0,99                                 | 3,30                          |
| 64  | Саратовская область             | 4734                      | 3964          | 366           | 240           | 155              | 9                 |                 |              | 0,75                                 | 3,55                          |
| 65  | Сахалинская область             | 878                       | 631           | 156           | 78            | 12               | 1                 |                 |              | 0,92                                 | 0,81                          |
| 66  | Свердловская область            | 10251                     | 7872          | 1499          | 596           | 261              | 22                | 1               |              | 0,86                                 | 8,79                          |
| 67  | Смоленская область              | 4707                      | 1609          | 1910          | 743           | 386              | 59                |                 |              | 2,03                                 | 9,56                          |
| 68  | Тамбовская область              | 559                       | 467           | 46            | 46            |                  |                   |                 |              | 0,69                                 | 0,39                          |
| 69  | Тверская область                | 3154                      | 2409          | 448           | 199           | 96               | 2                 |                 |              | 0,78                                 | 2,47                          |
| 70  | Томская область                 | 4985                      | 3567          | 751           | 513           | 147              | 7                 |                 |              | 1,10                                 | 5,47                          |
| 71  | Тульская область                | 1233                      | 988           | 146           | 50            | 49               |                   |                 |              | 1,13                                 | 1,40                          |
| 72  | Тюменская область               | 1357                      | 938           | 330           | 68            | 21               |                   |                 |              | 0,98                                 | 1,33                          |
| 73  | Ульяновская область             | 2858                      | 1681          | 404           | 386           | 271              | 97                | 19              |              | 2,35                                 | 6,71                          |
| 74  | Челябинская область             | 13660                     | 5592          | 4104          | 3116          | 787              | 61                |                 |              | 1,86                                 | 25,43                         |
| 75  | Забайкальский край              | 4193                      | 864           | 1547          | 1142          | 528              | 112               |                 |              | 2,87                                 | 12,03                         |
| 76  | Ярославская область             | 1063                      | 946           | 73            | 33            | 8                |                   | 3               |              | 0,81                                 | 0,87                          |
| 77  | Москва                          | 19309                     | 8960          | 9162          | 970           | 191              | 21                | 5               |              | 1,14                                 | 21,99                         |
| 78  | Санкт-Петербург                 | 9823                      | 3429          | 5716          | 526           | 139              | 13                |                 |              | 1,32                                 | 12,96                         |
| 79  | Еврейская Автономная Область    | 87                        | 74            | 10            | 1             | 2                |                   |                 |              | 0,84                                 | 0,07                          |
| 82  | Республика Крым                 | 753                       | 417           | 279           | 43            | 13               | 1                 |                 |              | 1,14                                 | 0,85                          |
| 83  | Ненецкий автономный округ       | 143                       | 78            | 40            | 21            | 3                | 1                 |                 |              | 1,24                                 | 0,18                          |
| 86  | Ханты-Мансийский АО-Югра        | 4107                      | 2257          | 947           | 711           | 182              | 10                |                 |              | 1,48                                 | 6,07                          |
| 87  | Чукотский автономный округ      | 830                       | 398           | 132           | 104           | 132              | 64                |                 |              | 3,28                                 | 2,73                          |
| 89  | Ямало-Ненецкий автономный округ | 1527                      | 544           | 319           | 389           | 242              | 33                |                 |              | 2,70                                 | 4,12                          |
| 92  | Севастополь                     | 276                       | 172           | 74            | 14            | 13               | 1                 | 2               |              | 1,52                                 | 0,42                          |
|     | Всего:                          | 215290                    | 131620        | 56605         | 19572         | 6452             | 989               | 52              |              | 1,23                                 | 264,0                         |
|     | % от общей численности          |                           | 61,14         | 26,29         | 9,09          | 3,00             | 0,46              | 0,02            | 0            |                                      |                               |

**Распределение численности персонала группы Б по диапазонам измеренных индивидуальных годовых эффективных доз производственного облучения за счет нормальной эксплуатации техногенных источников ионизирующего излучения в 2017 г.**

| Код | Наименование субъекта РФ        | Количество персонала, чел | 0 - 1 мЗв/год | 1 - 2 мЗв/год | 2 - 5 мЗв/год | 5 - 12,5 мЗв/год | 12,5 - 20 мЗв/год | 20 - 50 мЗв/год | > 50 мЗв/год | Средняя индивидуальная доза, мЗв/год | Коллективная доза, чел-Зв/год |
|-----|---------------------------------|---------------------------|---------------|---------------|---------------|------------------|-------------------|-----------------|--------------|--------------------------------------|-------------------------------|
| 01  | Республика Адыгея               | 53                        | 44            | 9             |               |                  |                   |                 |              | 0,62                                 | 0,03                          |
| 02  | Республика Башкортостан         | 476                       | 427           | 45            | 4             |                  |                   |                 |              | 0,43                                 | 0,20                          |
| 03  | Республика Бурятия              | 102                       | 79            | 22            | 1             |                  |                   |                 |              | 0,70                                 | 0,07                          |
| 04  | Республика Алтай                | 15                        | 9             | 6             |               |                  |                   |                 |              | 0,87                                 | 0,01                          |
| 05  | Республика Дагестан             | 5                         | 4             |               |               | 1                |                   |                 |              | 2,21                                 | 0,01                          |
| 06  | Республика Ингушетия            | 17                        | 17            |               |               |                  |                   |                 |              | 0,36                                 | 0,01                          |
| 07  | Кабардино-Балкарская Республика | 31                        | 30            | 1             |               |                  |                   |                 |              | 0,44                                 | 0,01                          |
| 09  | Караево-Черкесская республика   | 34                        | 22            | 11            | 1             |                  |                   |                 |              | 0,89                                 | 0,03                          |
| 10  | Республика Карелия              | 78                        | 74            | 4             |               |                  |                   |                 |              | 0,42                                 | 0,03                          |
| 11  | Республика Коми                 | 71                        | 27            | 29            | 14            |                  | 1                 |                 |              | 1,48                                 | 0,10                          |
| 12  | Республика Марий Эл             | 72                        | 27            | 44            | 1             |                  |                   |                 |              | 1,07                                 | 0,08                          |
| 13  | Республика Мордовия             | 24                        | 8             | 4             | 11            | 1                |                   |                 |              | 1,82                                 | 0,04                          |
| 14  | Республика Саха (Якутия)        | 112                       | 106           | 5             | 1             |                  |                   |                 |              | 0,46                                 | 0,05                          |
| 16  | Республика Татарстан            | 339                       | 317           | 22            |               |                  |                   |                 |              | 0,54                                 | 0,18                          |
| 17  | Республика Тыва                 | 33                        | 33            |               |               |                  |                   |                 |              | 0,14                                 | 0,00                          |
| 18  | Удмуртская Республика           | 111                       | 102           | 9             |               |                  |                   |                 |              | 0,64                                 | 0,07                          |
| 19  | Республика Хакасия              | 5                         | 5             |               |               |                  |                   |                 |              | 0,07                                 | 0,00                          |
| 20  | Чеченская Республика            | 38                        | 36            | 2             |               |                  |                   |                 |              | 0,49                                 | 0,02                          |
| 21  | Чувашская Республика            | 38                        | 36            | 2             |               |                  |                   |                 |              | 0,64                                 | 0,02                          |
| 22  | Алтайский край                  | 113                       | 106           | 7             |               |                  |                   |                 |              | 0,64                                 | 0,07                          |
| 23  | Краснодарский край              | 300                       | 198           | 102           |               |                  |                   |                 |              | 0,83                                 | 0,25                          |
| 24  | Красноярский край               | 1148                      | 1000          | 133           | 15            |                  |                   |                 |              | 0,48                                 | 0,55                          |
| 25  | Приморский край                 | 175                       | 111           | 60            | 4             |                  |                   |                 |              | 0,80                                 | 0,14                          |
| 26  | Ставропольский край             | 257                       | 207           | 39            | 11            |                  |                   |                 |              | 0,77                                 | 0,20                          |
| 27  | Хабаровский край                | 248                       | 167           | 37            | 44            |                  |                   |                 |              | 1,06                                 | 0,26                          |
| 28  | Амурская область                | 19                        | 10            | 5             | 4             |                  |                   |                 |              | 1,28                                 | 0,02                          |
| 29  | Архангельская область           | 358                       | 280           | 76            | 2             |                  |                   |                 |              | 0,61                                 | 0,22                          |
| 30  | Астраханская область            | 98                        | 95            | 2             | 1             |                  |                   |                 |              | 0,34                                 | 0,03                          |
| 31  | Белгородская область            | 121                       | 120           |               |               | 1                |                   |                 |              | 0,37                                 | 0,04                          |
| 32  | Брянская область                | 16                        | 16            |               |               |                  |                   |                 |              | 0,29                                 | 0,00                          |

| Код | Наименование субъекта РФ | Количество персонала, чел | 0 - 1 мЗв/год | 1 - 2 мЗв/год | 2 - 5 мЗв/год | 5 - 12,5 мЗв/год | 12,5 - 20 мЗв/год | 20 - 50 мЗв/год | > 50 мЗв/год | Средняя индивидуальная доза, мЗв/год | Коллективная доза, чел-Зв/год |
|-----|--------------------------|---------------------------|---------------|---------------|---------------|------------------|-------------------|-----------------|--------------|--------------------------------------|-------------------------------|
| 33  | Владимирская область     | 59                        | 50            | 6             | 3             |                  |                   |                 |              | 0,82                                 | 0,05                          |
| 34  | Волгоградская область    | 514                       | 246           | 267           | 1             |                  |                   |                 |              | 0,79                                 | 0,41                          |
| 35  | Вологодская область      | 50                        | 7             | 34            | 9             |                  |                   |                 |              | 1,55                                 | 0,08                          |
| 36  | Воронежская область      | 130                       | 118           | 11            | 1             |                  |                   |                 |              | 0,39                                 | 0,05                          |
| 37  | Ивановская область       | 97                        | 94            | 3             |               |                  |                   |                 |              | 0,45                                 | 0,04                          |
| 38  | Иркутская область        | 419                       | 298           | 102           | 19            |                  |                   |                 |              | 0,61                                 | 0,26                          |
| 39  | Калининградская область  | 23                        | 22            | 1             |               |                  |                   |                 |              | 0,48                                 | 0,01                          |
| 40  | Калужская область        | 112                       | 104           | 1             | 7             |                  |                   |                 |              | 0,75                                 | 0,08                          |
| 41  | Камчатский край          | 940                       |               |               |               |                  |                   |                 |              | 0,05                                 | 0,04                          |
| 42  | Кемеровская область      | 48                        | 43            | 5             |               |                  |                   |                 |              | 0,59                                 | 0,03                          |
| 43  | Кировская область        | 65                        | 63            | 2             |               |                  |                   |                 |              | 0,44                                 | 0,03                          |
| 44  | Костромская область      | 60                        | 57            | 3             |               |                  |                   |                 |              | 0,45                                 | 0,03                          |
| 45  | Курганская область       | 95                        | 89            | 5             |               | 1                |                   |                 |              | 0,66                                 | 0,06                          |
| 46  | Курская область          | 100                       | 66            | 25            | 6             | 3                |                   |                 |              | 1,21                                 | 0,12                          |
| 47  | Ленинградская область    | 1516                      | 1273          | 193           | 47            | 3                |                   |                 |              | 0,54                                 | 0,82                          |
| 48  | Липецкая область         | 103                       | 83            | 20            |               |                  |                   |                 |              | 0,65                                 | 0,07                          |
| 49  | Магаданская область      | 48                        | 46            | 2             |               |                  |                   |                 |              | 0,16                                 | 0,01                          |
| 50  | Московская область       | 820                       | 666           | 140           | 14            |                  |                   |                 |              | 0,51                                 | 0,42                          |
| 51  | Мурманская область       | 779                       | 774           | 5             |               |                  |                   |                 |              | 0,21                                 | 0,16                          |
| 52  | Нижегородская область    | 194                       | 185           | 8             | 1             |                  |                   |                 |              | 0,47                                 | 0,09                          |
| 53  | Новгородская область     | 37                        | 2             | 31            | 3             | 1                |                   |                 |              | 1,65                                 | 0,06                          |
| 54  | Новосибирская область    | 490                       | 308           | 134           | 48            |                  |                   |                 |              | 1,05                                 | 0,51                          |
| 55  | Омская область           | 409                       | 108           | 196           | 104           | 1                |                   |                 |              | 1,58                                 | 0,65                          |
| 56  | Оренбургская область     | 34                        | 15            | 15            | 4             |                  |                   |                 |              | 1,22                                 | 0,04                          |
| 57  | Орловская область        | 22                        | 11            | 9             | 2             |                  |                   |                 |              | 1,20                                 | 0,03                          |
| 58  | Пензенская область       | 47                        | 29            | 18            |               |                  |                   |                 |              | 0,88                                 | 0,04                          |
| 59  | Пермский край            | 234                       | 153           | 76            | 5             |                  |                   |                 |              | 0,91                                 | 0,21                          |
| 60  | Псковская область        | 29                        | 4             | 8             | 17            |                  |                   |                 |              | 1,96                                 | 0,06                          |
| 61  | Ростовская область       | 201                       | 100           | 98            | 3             |                  |                   |                 |              | 0,83                                 | 0,17                          |
| 62  | Рязанская область        | 139                       | 139           |               |               |                  |                   |                 |              | 0,36                                 | 0,05                          |
| 63  | Самарская область        | 436                       | 293           | 126           | 17            |                  |                   |                 |              | 0,95                                 | 0,41                          |
| 64  | Саратовская область      | 249                       | 215           | 33            | 1             |                  |                   |                 |              | 0,47                                 | 0,12                          |

| Код | Наименование субъекта РФ        | Количество персонала, чел | 0 - 1<br>мЗв/год | 1 - 2<br>мЗв/год | 2 - 5<br>мЗв/год | 5 - 12,5<br>мЗв/год | 12,5 - 20<br>мЗв/год | 20 - 50<br>мЗв/год | > 50<br>мЗв/год | Средняя индивидуальная доза,<br>мЗв/год | Коллективная доза,<br>чел-Зв/год |
|-----|---------------------------------|---------------------------|------------------|------------------|------------------|---------------------|----------------------|--------------------|-----------------|-----------------------------------------|----------------------------------|
| 65  | Сахалинская область             | 64                        | 47               | 16               | 1                |                     |                      |                    |                 | 0,64                                    | 0,04                             |
| 66  | Свердловская область            | 1055                      | 896              | 144              | 14               | 1                   |                      |                    |                 | 0,52                                    | 0,55                             |
| 67  | Смоленская область              | 30                        | 11               | 4                | 15               |                     |                      |                    |                 | 1,80                                    | 0,05                             |
| 68  | Тамбовская область              | 18                        | 14               | 1                | 3                |                     |                      |                    |                 | 0,96                                    | 0,02                             |
| 69  | Тверская область                | 58                        | 46               | 10               | 2                |                     |                      |                    |                 | 0,65                                    | 0,04                             |
| 70  | Томская область                 | 412                       | 398              | 8                | 6                |                     |                      |                    |                 | 0,23                                    | 0,10                             |
| 71  | Тульская область                | 51                        | 43               | 7                | 1                |                     |                      |                    |                 | 0,82                                    | 0,04                             |
| 72  | Туменская область               | 121                       | 94               | 21               | 6                |                     |                      |                    |                 | 0,87                                    | 0,10                             |
| 73  | Ульяновская область             | 286                       | 274              | 10               | 2                |                     |                      |                    |                 | 0,39                                    | 0,11                             |
| 74  | Челябинская область             | 1363                      | 1137             | 204              | 22               |                     |                      |                    |                 | 0,60                                    | 0,81                             |
| 75  | Забайкальский край              | 37                        | 27               | 8                | 2                |                     |                      |                    |                 | 0,66                                    | 0,02                             |
| 76  | Ярославская область             | 46                        | 44               | 1                |                  | 1                   |                      |                    |                 | 0,73                                    | 0,03                             |
| 77  | Москва                          | 2473                      | 859              | 1536             | 77               | 1                   |                      |                    |                 | 1,13                                    | 2,80                             |
| 78  | Санкт-Петербург                 | 455                       | 322              | 126              | 7                |                     |                      |                    |                 | 0,71                                    | 0,32                             |
| 79  | Еврейская Автономная Область    | 7                         | 7                |                  |                  |                     |                      |                    |                 | 0,35                                    | 0,00                             |
| 82  | Республика Крым                 | 29                        | 12               | 16               |                  | 1                   |                      |                    |                 | 1,12                                    | 0,03                             |
| 83  | Ненецкий автономный округ       | 88                        | 86               | 2                |                  |                     |                      |                    |                 | 0,30                                    | 0,03                             |
| 86  | Ханты-Мансийский АО-Югра        | 270                       | 214              | 50               | 6                |                     |                      |                    |                 | 0,64                                    | 0,17                             |
| 87  | Чукотский автономный округ      | 4                         | 3                | 1                |                  |                     |                      |                    |                 | 0,73                                    | 0,00                             |
| 89  | Ямало-Ненецкий автономный округ | 80                        | 44               | 27               | 8                | 1                   |                      |                    |                 | 1,09                                    | 0,09                             |
| 92  | Севастополь                     | 28                        | 22               | 5                | 1                |                     |                      |                    |                 | 0,54                                    | 0,02                             |
|     | Всего:                          | 19981                     | 14914            | 4450             | 599              | 17                  | 1                    | 0                  | 0               | 0,67                                    | 13,4                             |
|     | % от общей численности          |                           | 74,64            | 22,27            | 3,00             | 0,09                | 0,01                 | 0                  | 0               |                                         |                                  |

## Приложение 2

### Форма № 3–ДОЗ Российской Федерации за 2017 год

Раздел 1. Эффективные дозы облучения пациентов при проведении рентгенологических исследований, полученные на основании расчета  
(1000) Код по ОКЕИ: единица – 642

| 1                                        | 2  | 3     | Годовые коллективные дозы пациентов по видам процедур, чел-Зв |              |                |               | 7     | 8    | 9    | 10     | 11 |                         |                          |        |
|------------------------------------------|----|-------|---------------------------------------------------------------|--------------|----------------|---------------|-------|------|------|--------|----|-------------------------|--------------------------|--------|
|                                          |    |       | № строки                                                      | флюорограммы | рентгенограммы | ренгеноскопии |       |      |      |        |    | компьютерные томографии | специальные исследования | прочие |
|                                          |    |       |                                                               | плёночные    | цифровые       |               |       |      |      |        |    |                         |                          |        |
| органы грудной клетки                    | 01 | 1 259 | 799                                                           | 703          | 84             | 120           | 2 283 | 110  | 0,04 | 5 358  |    |                         |                          |        |
| в т.ч. за счет профилактических процедур | 02 | 873   | 554                                                           | 69           | 20             |               |       |      |      | 1 515  |    |                         |                          |        |
| конечности                               | 03 | 0,26  | 0,09                                                          | 96           | 20             | 4,3           | 4,6   | 4,6  | 0,00 | 130    |    |                         |                          |        |
| шейные позвонки                          | 04 | 2,1   | 0,89                                                          | 190          | 9,4            | 0,40          | 146   | 1,0  |      | 349    |    |                         |                          |        |
| грудные позвонки                         | 05 | 1,4   | 0,17                                                          | 343          | 12             | 0,30          | 185   | 0,96 |      | 542    |    |                         |                          |        |
| поясничные позвонки                      | 06 | 3,8   | 0,23                                                          | 1 093        | 33             | 0,64          | 463   | 7,1  |      | 1 600  |    |                         |                          |        |
| таз и бедро                              | 07 | 2,6   | 0,51                                                          | 685          | 29             | 0,49          | 801   | 4,7  |      | 1 524  |    |                         |                          |        |
| ребра и грудина                          | 08 | 1,3   | 0,27                                                          | 233          | 12             | 0,12          | 0,39  | 0,10 |      | 247    |    |                         |                          |        |
| органы брюшной полости                   | 09 | 0,01  |                                                               | 408          | 40             | 96            | 1 716 | 32   | 0,11 | 2 293  |    |                         |                          |        |
| верхняя часть желудочно-кишечного тракта | 10 |       |                                                               | 243          | 19             | 196           | 4,6   | 1,7  |      | 463    |    |                         |                          |        |
| нижняя часть желудочно-кишечного тракта  | 11 |       |                                                               | 275          | 39             | 265           | 5,2   | 2,0  |      | 586    |    |                         |                          |        |
| череп, челюстно-лицевая область          | 12 | 0,12  | 1,3                                                           | 129          | 43             | 0,06          | 1 181 | 13   | 0,04 | 1 367  |    |                         |                          |        |
| зубы                                     | 13 | 0,07  |                                                               | 71           | 19             |               | 23    | 0,35 |      | 114    |    |                         |                          |        |
| почки, мочевыводящая система             | 14 |       |                                                               | 360          | 20             | 2,5           | 109   | 34   | 0,19 | 526    |    |                         |                          |        |
| молочная железа                          | 15 |       |                                                               | 574          | 109            |               |       |      |      | 683    |    |                         |                          |        |
| в т.ч. за счет профилактических процедур | 16 |       |                                                               | 389          | 70             |               |       |      |      | 458    |    |                         |                          |        |
| прочие                                   | 17 |       | 0,14                                                          | 19           | 4,5            | 23            | 51    | 201  | 32   | 331    |    |                         |                          |        |
| Всего                                    | 18 | 1 271 | 803                                                           | 5 421        | 490            | 709           | 6 971 | 412  | 33   | 16 112 |    |                         |                          |        |
| Средние индивидуальные дозы, мЗв         | 19 | 0,37  | 0,05                                                          | 0,14         | 0,03           | 2,8           | 3,9   | 5,3  | 4,3  | 0,21   |    |                         |                          |        |

**(1100)** Число процедур с рассчитанными дозами облучения пациентов при проведении рентгенологических исследований  
Код по ОКЕИ: единица- 642

| № строки                                 | флюорограммы пленочные | 3     | 4      | 5      | 6      | Количество процедур по видам, тыс. шт. |                |                         |                          | прочие | Суммарное количество процедур, (сумма граф с 3 по 10) | Общее количество проведенных исследований, тыс. шт. |
|------------------------------------------|------------------------|-------|--------|--------|--------|----------------------------------------|----------------|-------------------------|--------------------------|--------|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
|                                          |                        |       |        |        |        | рентгенограммы цифровые                | рентгеноскопии | компьютерные томографии | специальные исследования |        |                                                       |                                                     |
| 1                                        | 2                      | 3     | 4      | 5      | 6      | 7                                      | 8              | 9                       | 10                       | 11     | 12                                                    |                                                     |
| органы грудной клетки                    | 01                     | 3 195 | 15 992 | 6 931  | 2 762  | 87                                     | 383            | 27                      | 0,03                     | 29 377 | 25 620                                                |                                                     |
| в т.ч. за счет профилактических процедур | 02                     | 2 227 | 11 092 | 680    | 654    |                                        |                |                         |                          | 14 652 | 13 462                                                |                                                     |
| конечности                               | 03                     | 25    | 9,2    | 8 550  | 1 885  | 4,8                                    | 45             | 3,8                     | 0,09                     | 10 523 | 6 286                                                 |                                                     |
| шейные позвонки                          | 04                     | 21    | 30     | 1 276  | 310    | 0,31                                   | 48             | 0,55                    |                          | 1 685  | 989                                                   |                                                     |
| грудные позвонки                         | 05                     | 6,8   | 4,2    | 863    | 194    | 0,19                                   | 37             | 0,24                    |                          | 1 105  | 696                                                   |                                                     |
| поясничные позвонки                      | 06                     | 3,8   | 2,3    | 1 564  | 412    | 0,65                                   | 84             | 1,9                     |                          | 2 069  | 1 281                                                 |                                                     |
| таз и бедро                              | 07                     | 1,8   | 1,7    | 983    | 289    | 0,51                                   | 116            | 1,6                     |                          | 1 393  | 1 074                                                 |                                                     |
| ребра и грудина                          | 08                     | 1,0   | 2,7    | 468    | 115    | 0,08                                   | 0,07           | 0,02                    |                          | 588    | 471                                                   |                                                     |
| органы брюшной полости                   | 09                     | 0,50  |        | 379    | 201    | 22                                     | 246            | 5,1                     | 0,03                     | 854    | 678                                                   |                                                     |
| верхняя часть желудочно-кишечного тракта | 10                     |       |        | 308    | 186    | 83                                     | 0,69           | 0,37                    |                          | 577    | 240                                                   |                                                     |
| нижняя часть желудочно-кишечного тракта  | 11                     |       |        | 277    | 194    | 50                                     | 0,69           | 0,73                    |                          | 522    | 188                                                   |                                                     |
| череп, челюстно-лицевая область          | 12                     | 30    | 4,9    | 2 550  | 1 078  | 0,02                                   | 594            | 3,3                     | 0,40                     | 4 262  | 3 457                                                 |                                                     |
| зубы                                     | 13                     | 161   |        | 7 057  | 6 214  |                                        | 227            | 0,58                    |                          | 13 659 | 11 826                                                |                                                     |
| почки, мочевыводящая система             | 14                     |       |        | 607    | 199    | 1,7                                    | 17             | 8,4                     | 0,05                     | 833    | 470                                                   |                                                     |
| молочная железа                          | 15                     |       |        | 5 715  | 2 171  |                                        |                |                         |                          | 7 886  | 2 880                                                 |                                                     |
| в т.ч. за счет профилактических процедур | 16                     |       |        | 3 890  | 1 390  |                                        |                |                         |                          | 5 280  | 1 847                                                 |                                                     |
| прочие                                   | 17                     |       | 1,4    | 158    | 38     | 3,9                                    | 15             | 24                      | 7,1                      | 248    | 169                                                   |                                                     |
| Всего                                    | 18                     | 3 446 | 16 048 | 37 687 | 16 249 | 254                                    | 1 813          | 77                      | 7,7                      | 75 582 | 56 331                                                |                                                     |

## Раздел 2. Эффективные дозы облучения пациентов при проведении рентгенологических исследований, полученные на основе контроля доз

## (2000) Код по ОКЕИ : единица – 642

| № стро- ки                                 | Годовые коллективные дозы пациентов по видам процедур, чел-Зв | Суммарная коллективная доза, чел - Зв (сумма граф с 3 по10) |          |                |          |                |                          |                          |        |        |  |
|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|----------|----------------|----------|----------------|--------------------------|--------------------------|--------|--------|--|
|                                            |                                                               | флюорограммы                                                |          | рентгенограммы |          | рентгеноскопии | компьютерные томо-графии | специальные исследования | прочие |        |  |
|                                            |                                                               | пленоч- ные                                                 | цифровые | пленочные      | цифровые |                |                          |                          |        |        |  |
| 1                                          | 2                                                             | 3                                                           | 4        | 5              | 6        | 7              | 8                        | 9                        | 10     | 11     |  |
| органы грудной клетки                      | 01                                                            | 895                                                         | 2 994    | 1 601          | 478      | 614            | 9 987                    | 3 637                    | 42     | 20 248 |  |
| в т.ч. за счет профилактиче- ских процедур | 02                                                            | 711                                                         | 2 498    | 149            | 61       |                |                          |                          |        | 3 418  |  |
| конечности                                 | 03                                                            | 0,00                                                        | 0,39     | 193            | 112      | 62             | 73                       | 207                      | 17     | 664    |  |
| шейные позвонки                            | 04                                                            | 0,41                                                        | 3,3      | 336            | 77       | 4,0            | 545                      | 73                       | 0,41   | 1 039  |  |
| грудные позвонки                           | 05                                                            | 0,12                                                        | 1,2      | 648            | 105      | 2,3            | 677                      | 28                       | 0,07   | 1 461  |  |
| поясничные позвонки                        | 06                                                            |                                                             | 0,21     | 1 922          | 309      | 15             | 1 713                    | 109                      | 4,1    | 4 072  |  |
| таз и бедро                                | 07                                                            |                                                             | 0,13     | 1 092          | 175      | 22             | 2 095                    | 88                       | 1,1    | 3 473  |  |
| ребра и грудина                            | 08                                                            | 0,80                                                        | 0,61     | 343            | 57       | 0,32           | 28                       | 0,18                     | 0,00   | 430    |  |
| органы брюшной полости                     | 09                                                            |                                                             | 0,02     | 568            | 143      | 365            | 9 047                    | 644                      | 2,7    | 10 770 |  |
| верхняя часть желудочно-ки- шечного тракта | 10                                                            |                                                             | 0,01     | 414            | 137      | 1 164          | 211                      | 37                       | 0,56   | 1 964  |  |
| нижняя часть желудочно-ки- шечного тракта  | 11                                                            |                                                             | 0,02     | 507            | 168      | 1 646          | 310                      | 20                       | 0,11   | 2 651  |  |
| череп, челюстно-лицевая область            | 12                                                            | 0,12                                                        | 6,6      | 287            | 130      | 3,3            | 5 165                    | 140                      | 1,4    | 5 734  |  |
| зубы                                       | 13                                                            |                                                             | 0,02     | 163            | 64       | 0,05           | 53                       | 1,2                      | 0,07   | 282    |  |
| почки, мочевыводящая система               | 14                                                            |                                                             | 0,04     | 639            | 149      | 49             | 2 216                    | 431                      | 4,1    | 3 488  |  |
| молочная железа                            | 15                                                            |                                                             |          | 1 017          | 512      |                |                          |                          |        | 1 529  |  |
| в т.ч. за счет профилактиче- ских процедур | 16                                                            |                                                             |          | 726            | 229      |                |                          |                          |        | 954    |  |
| прочие                                     | 17                                                            |                                                             | 2,1      | 81             | 48       | 44             | 805                      | 1 995                    | 134    | 3 110  |  |
| Всего                                      | 18                                                            | 897                                                         | 3 009    | 9 811          | 2 667    | 3 992          | 32 923                   | 7 411                    | 208    | 60 916 |  |
| Средние индивидуальные дозы, мЗв           | 19                                                            | 0,33                                                        | 0,05     | 0,14           | 0,05     | 2,6            | 3,9                      | 5,7                      | 1,7    | 0,30   |  |

2.1. Число процедур с измеренными дозами при проведении рентгенологических исследований

(2100) Код по ОКЕИ: единица – 642

| № стро-ки                                 |    | Количество процедур по видам, тыс. шт. |          |                |          |                |                         |                            |        |         |         | Суммарное количество процедур, (сумма граф с 3 по 10) | Общее количество проведенных исследований, тыс. шт. |
|-------------------------------------------|----|----------------------------------------|----------|----------------|----------|----------------|-------------------------|----------------------------|--------|---------|---------|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
|                                           |    | флюорограммы                           |          | рентгенограммы |          |                |                         |                            |        |         |         |                                                       |                                                     |
|                                           |    | плеченные                              | цифровые | плеченные      | цифровые | рентгеноскопии | компьютерные томографии | специаль-ные исследо-вания | прочие |         |         |                                                       |                                                     |
| 1                                         | 2  | 3                                      | 4        | 5              | 6        | 7              | 8                       | 9                          | 10     | 11      | 12      |                                                       |                                                     |
| органы грудной клетки                     | 01 | 2 731                                  | 62 464   | 13 628         | 12 316   | 438            | 2 013                   | 602                        | 29     | 94 221  | 76 751  |                                                       |                                                     |
|                                           | 02 | 2 240                                  | 53 003   | 1 272          | 1 791    |                |                         |                            |        | 58 306  | 51 270  |                                                       |                                                     |
| в т.ч. за счет профилак-тических процедур | 03 | 0,52                                   | 59       | 18 087         | 10 355   | 53             | 207                     | 88                         | 7,5    | 28 857  | 16 114  |                                                       |                                                     |
| конечности                                | 04 | 4,1                                    | 92       | 2 635          | 2 068    | 2,6            | 193                     | 16                         | 0,35   | 5 011   | 2 616   |                                                       |                                                     |
| шейные позвонки                           | 05 | 0,66                                   | 25       | 1 792          | 1 251    | 1,2            | 136                     | 6,8                        | 0,19   | 3 212   | 1 797   |                                                       |                                                     |
| грудные позвонки                          | 06 |                                        | 2,4      | 3 237          | 2 435    | 6,4            | 321                     | 22                         | 20     | 6 043   | 3 394   |                                                       |                                                     |
| поясничные позвонки                       | 07 |                                        | 5,5      | 1 831          | 1 417    | 5,5            | 331                     | 19                         | 22     | 3 631   | 2 742   |                                                       |                                                     |
| таз и бедро                               | 08 | 12                                     | 10       | 893            | 559      | 1,7            | 5,7                     | 0,66                       | 0,01   | 1 482   | 1 170   |                                                       |                                                     |
| ребра и грудина                           | 09 |                                        | 2,4      | 755            | 737      | 147            | 1 245                   | 75                         | 1,3    | 2 963   | 2 363   |                                                       |                                                     |
| органы брюшной полости                    | 10 |                                        | 0,02     | 689            | 1 109    | 512            | 30                      | 9,8                        | 0,33   | 2 351   | 718     |                                                       |                                                     |
| верхняя часть желудочно-кишечного тракта  | 11 |                                        | 0,02     | 601            | 750      | 341            | 44                      | 4,5                        | 0,12   | 1 741   | 566     |                                                       |                                                     |
| нижняя часть желудочно-кишечного тракта   | 12 | 0,86                                   | 106      | 4 820          | 3 694    | 1,9            | 3 095                   | 38                         | 1,7    | 11 758  | 9 359   |                                                       |                                                     |
| череп, челюстно-лицевая область           | 13 |                                        | 2,8      | 7 742          | 10 859   | 0,55           | 246                     | 3,4                        | 2,0    | 18 855  | 15 970  |                                                       |                                                     |
| зубы                                      | 14 |                                        | 0,53     | 1 256          | 1 020    | 27             | 356                     | 128                        | 4,0    | 2 792   | 1 552   |                                                       |                                                     |
| почки, мочевыводящая система              | 15 |                                        |          | 12 327         | 7 918    |                |                         |                            |        | 20 244  | 6 823   |                                                       |                                                     |
| молочная железа                           | 16 |                                        |          | 8 698          | 4 268    |                |                         |                            |        | 12 966  | 4 339   |                                                       |                                                     |
| в т.ч. за счет профилак-тических процедур | 17 |                                        | 2,5      | 504            | 308      | 16             | 180                     | 284                        | 38     | 1 331   | 1 007   |                                                       |                                                     |
| прочие                                    | 18 | 2 749                                  | 62 772   | 70 796         | 56 795   | 1 554          | 8 404                   | 1 297                      | 125    | 204 491 | 142 941 |                                                       |                                                     |
| Всего                                     |    |                                        |          |                |          |                |                         |                            |        |         |         |                                                       |                                                     |

Раздел 3. Количество проведенных радионуклидных исследований и полученные при этом эффективные дозы облучения пациентов

(3000)

|                          | № строки | Количество исследований, ед |              |        | Общее количество проведенных исследований, ед (сумма граф с 4 по 6) | Годовые коллективные дозы пациентов, чел.-Зв |              |        |       | Средняя индивидуальная доза, мЗв |
|--------------------------|----------|-----------------------------|--------------|--------|---------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|--------------|--------|-------|----------------------------------|
|                          |          | Функциональные исследования | Сцинтиграфии | Прочие |                                                                     | Функциональные исследования                  | Сцинтиграфии | Прочие |       |                                  |
|                          |          |                             |              |        |                                                                     |                                              |              |        |       |                                  |
|                          |          |                             |              |        |                                                                     |                                              |              |        |       |                                  |
| 1                        | 2        | 3                           | 4            | 5      | 6                                                                   | 7                                            | 8            | 9      | 10    | 11                               |
| Легкие                   | 01       | 687                         | 11 276       | 491    | 12 454                                                              | 1,0                                          | 21           | 0,77   | 23    | 1,8                              |
|                          | 02       | 2 704                       | 22 720       | 1 119  | 26 543                                                              | 9,4                                          | 80           | 4,6    | 94    | 3,6                              |
| Сердце                   | 03       | 7,0                         | 201 716      | 1 577  | 203 300                                                             | 0,01                                         | 497          | 2,0    | 499   | 2,5                              |
|                          | 04       | 107                         | 4 396        | 34     | 4 537                                                               | 0,70                                         | 14           | 0,10   | 15    | 3,3                              |
| Желудочно-кишечный тракт | 05       | 3 871                       | 747          | 802    | 5 420                                                               | 14                                           | 4,7          | 3,5    | 22    | 4,0                              |
|                          | 06       | 2 859                       | 42 409       | 293    | 45 561                                                              | 2,2                                          | 91           | 1,2    | 94    | 2,1                              |
| Головной мозг            | 07       | 59 663                      | 41 572       | 173    | 101 408                                                             | 68                                           | 44           | 0,00   | 112   | 1,1                              |
|                          | 08       | 1 915                       | 11 413       | 321    | 13 649                                                              | 3,7                                          | 30           | 1,0    | 35    | 2,5                              |
| Щитовидная железа        | 09       | 7 599                       | 27 155       | 72 414 | 107 168                                                             | 17                                           | 93           | 1 012  | 1 121 | 10                               |
|                          | 10       | 79 412                      | 363 404      | 77 224 | 520 040                                                             | 115                                          | 875          | 1 025  | 2 015 | 3,9                              |

Приложение 3.

Обобщенная форма № 4-ДОЗ Российской Федерации за 2017 год

Коды по ОКЕИ: тыс. человек – 792, единицы – 642, доза – 639

| Субъект РФ <sup>1)</sup>          | Код <sup>2)</sup> жителей, <sup>3)</sup> | Число<br>тыс. чел | Число измерений и мощность дозы <sup>4)</sup> |      |     |      |      |                   |     |      |      |      | Число измерений и ЭРОА радона <sup>5)</sup> |       |      |       |      |      |      |      |      |      | Годовая эффективная<br>доза, мЗв/год |                    |      |     |      |     |    |     |
|-----------------------------------|------------------------------------------|-------------------|-----------------------------------------------|------|-----|------|------|-------------------|-----|------|------|------|---------------------------------------------|-------|------|-------|------|------|------|------|------|------|--------------------------------------|--------------------|------|-----|------|-----|----|-----|
|                                   |                                          |                   | МКЗв/ч                                        |      |     |      |      | Бк/м <sup>3</sup> |     |      |      |      | ЭРОА                                        |       |      |       |      | ЭРОА |      |      |      |      |                                      |                    |      |     |      |     |    |     |
|                                   |                                          |                   | Д                                             |      | МК  |      | МК   |                   | Д   |      | МК   |      | МК                                          |       | ЭРОА |       | ЭРОА |      | ЭРОА |      | ЭРОА |      | ЭРОА                                 |                    | ЭРОА |     | ЭРОА |     |    |     |
|                                   |                                          |                   | ЧИ                                            | МЭД  | ЧИ  | МЭД  | ЧИ   | МЭД               | ЧИ  | МЭД  | ЧИ   | МЭД  | ЧИ                                          | МЭД   | ЧИ   | МЭД   | ЧИ   | МЭД  | ЧИ   | МЭД  | ЧИ   | МЭД  | ЧИ                                   | МЭД                | ЧИ   | МЭД | ЧИ   | МЭД | ЧИ | МЭД |
| Республика Адыгея                 | 01                                       | 453,376           | 8                                             | 0,09 | 258 | 0,10 | 52   | 0,10              | 380 | 0,10 | 8    | 66,6 | 258                                         | 43,4  | 52   | 34,9  | 0,17 | 0,40 | 0,62 | 2,87 | 0,12 | 0,02 | 0,006                                | 4,20               |      |     |      |     |    |     |
| Республика Башкортостан           | 02                                       | 4066,973          | -                                             | -    | 30  | 0,10 | 479  | 0,10              | 123 | 0,09 | -    | -    | 30                                          | 46,7  | 466  | 24,5  | 0,17 | 0,40 | 0,59 | 1,81 | 0,12 | 0,01 | 0,006                                | 3,11               |      |     |      |     |    |     |
| Республика Бурятия                | 03                                       | 984,134           | 28                                            | 0,14 | 36  | 0,15 | 219  | 0,15              | 48  | 0,15 | 28   | 23,6 | 36                                          | 92,7  | 202  | 30,1  | 0,17 | 0,40 | 0,91 | 2,42 | 0,12 | 0,01 | 0,006                                | 4,04               |      |     |      |     |    |     |
| Республика Алтай                  | 04                                       | 217,777           | 1030                                          | 0,13 | 492 | 0,14 | 1536 | 0,14              | 1   | 0,16 | 1124 | 80,2 | 518                                         | 109,4 | 1586 | 101,6 | 0,17 | 0,40 | 0,86 | 5,79 | 0,12 | 0,01 | 0,006                                | 7,35               |      |     |      |     |    |     |
| Республика Дагестан <sup>1)</sup> | 05                                       | 3041,9            | -                                             | -    | 51  | 0,06 | 51   | 0,06              | 51  | 0,08 | 1    | 38,0 | 51                                          | 33,8  | 50   | 25,1  | 0,17 | 0,40 | 0,40 | 1,94 | 0,14 | 0,04 | 0,006                                | 3,09               |      |     |      |     |    |     |
| Республика Ингушетия              | 06                                       | 499,501           | 177                                           | 0,12 | 327 | 0,14 | 138  | 0,14              | 114 | 0,11 | -    | -    | -                                           | -     | -    | -     | 0,17 | 0,40 | 0,81 | -    | 0,12 | 0,01 | 0,006                                | 1,52               |      |     |      |     |    |     |
|                                   |                                          |                   |                                               |      |     |      |      |                   |     |      |      |      |                                             |       |      |       |      |      |      |      |      |      |                                      | Без<br>учета<br>Rn |      |     |      |     |    |     |

| Субъект РФ <sup>1)</sup> | Код <sup>2)</sup> жителей, <sup>3)</sup> | Число тыс. чел | Число измерений и мощность дозы <sup>4)</sup> |     |    |     |    |     | Число измерений и ЭРОА радона <sup>5)</sup> |     |    |     |    |     | Годовая эффективная доза, мЗв/год |     |    |      |    |     |                        |     |    |                  |    |     |       |     |    |      |    |     |                      |     |    |                     |    |     |                        |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |
|--------------------------|------------------------------------------|----------------|-----------------------------------------------|-----|----|-----|----|-----|---------------------------------------------|-----|----|-----|----|-----|-----------------------------------|-----|----|------|----|-----|------------------------|-----|----|------------------|----|-----|-------|-----|----|------|----|-----|----------------------|-----|----|---------------------|----|-----|------------------------|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|
|                          |                                          |                | МКЗв/ч                                        |     |    | МК  |    |     | ОМ                                          |     |    | Д   |    |     | МК                                |     |    | К-40 |    |     | Кос-мика <sup>7)</sup> |     |    | ВО <sup>8)</sup> |    |     | Радон |     |    | Пища |    |     | Во-да <sup>11)</sup> |     |    | Атм. <sup>12)</sup> |    |     | Пол-ная <sup>13)</sup> |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |
|                          |                                          |                | ЧИ                                            | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ                                          | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ                                | МЭД | ЧИ | МЭД  | ЧИ | МЭД | ЧИ                     | МЭД | ЧИ | МЭД              | ЧИ | МЭД | ЧИ    | МЭД | ЧИ | МЭД  | ЧИ | МЭД | ЧИ                   | МЭД | ЧИ | МЭД                 | ЧИ | МЭД | ЧИ                     | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ | МЭД | ЧИ |

| Субъект РФ <sup>1)</sup> | Код <sup>2)</sup> жителей, <sup>3)</sup> | Число<br>тыс. чел | Число измерений и мощность дозы <sup>4)</sup> |      |     |      |       |                                             |       |      |      |      | Число измерений и ЭРОА радона <sup>5)</sup> |      |      |      |      |                                      |                            |                            |                     |                     | Годовая эффективная<br>доза, мЗв/год |                          |                            |                            |  |
|--------------------------|------------------------------------------|-------------------|-----------------------------------------------|------|-----|------|-------|---------------------------------------------|-------|------|------|------|---------------------------------------------|------|------|------|------|--------------------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------|---------------------|--------------------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|--|
|                          |                                          |                   | Число измерений и мощность дозы <sup>4)</sup> |      |     |      |       | Число измерений и ЭРОА радона <sup>5)</sup> |       |      |      |      | Число измерений и ЭРОА радона <sup>5)</sup> |      |      |      |      | Годовая эффективная<br>доза, мЗв/год |                            |                            |                     |                     |                                      |                          |                            |                            |  |
|                          |                                          |                   | Д                                             | МЭД  | ЧИ  | МЭД  | ЧИ    | МЭД                                         | ЧИ    | МЭД  | ЧИ   | ЭРОА | Д                                           | ЭРОА | ЧИ   | ЭРОА | ЧИ   | МК                                   | К-40 <sup>6)</sup>         | Кос-<br>мика <sup>7)</sup> | ВО <sup>8)</sup>    | Радон <sup>9)</sup> | Пища <sup>10)</sup>                  | Во-<br>да <sup>11)</sup> | Атм. <sup>12)</sup>        | Пол-<br>ная <sup>13)</sup> |  |
| ЧИ                       | МЭД                                      | ЧИ                | МЭД                                           | ЧИ   | МЭД | ЧИ   | МЭД   | ЧИ                                          | МЭД   | ЧИ   | ЭРОА | Д    | ЭРОА                                        | ЧИ   | ЭРОА | ЧИ   | МК   | К-40 <sup>6)</sup>                   | Кос-<br>мика <sup>7)</sup> | ВО <sup>8)</sup>           | Радон <sup>9)</sup> | Пища <sup>10)</sup> | Во-<br>да <sup>11)</sup>             | Атм. <sup>12)</sup>      | Пол-<br>ная <sup>13)</sup> |                            |  |
| Калужская область        | 40                                       | 1014,570          | 46                                            | 0,11 | 31  | 0,11 | 478   | 0,12                                        | 259   | 0,11 | 46   | 21,3 | 31                                          | 23,3 | 479  | 23,7 | 0,17 | 0,40                                 | 0,71                       | 1,64                       | 0,12                | 0,01                | 0,006                                | 3,06                     |                            |                            |  |
| Камчатский край          | 41                                       | 315,557           | -                                             | -    | -   | -    | 225   | 0,07                                        | 50    | 0,05 | -    | -    | -                                           | -    | 225  | 12,0 | 0,17 | 0,40                                 | 0,41                       | 0,91                       | 0,12                | 0,01                | 0,006                                | 2,03                     |                            |                            |  |
| Кемеровская область      | 42                                       | 2713,235          | 53                                            | 0,13 | 321 | 0,15 | 5249  | 0,13                                        | 10010 | 0,11 | 32   | 43,1 | 131                                         | 76,8 | 3034 | 40,7 | 0,17 | 0,40                                 | 0,81                       | 3,27                       | 0,12                | 0,01                | 0,006                                | 4,80                     |                            |                            |  |
| Кировская область        | 43                                       | 1291,701          | -                                             | -    | -   | -    | 753   | 0,05                                        | 8     | 0,09 | -    | -    | -                                           | -    | 477  | 22,5 | 0,17 | 0,40                                 | 0,35                       | 1,61                       | 0,12                | 0,01                | 0,006                                | 2,66                     |                            |                            |  |
| Костромская область      | 44                                       | 648,157           | -                                             | -    | -   | -    | 277   | 0,08                                        | 590   | 0,08 | -    | -    | -                                           | -    | 277  | 23,4 | 0,17 | 0,40                                 | 0,51                       | 1,67                       | 0,12                | 0,03                | 0,006                                | 2,90                     |                            |                            |  |
| Курганская область       | 45                                       | 854,108           | 16                                            | 0,10 | 9   | 0,09 | 315   | 0,12                                        | 151   | 0,09 | 16   | 29,3 | 3                                           | 13,6 | 304  | 25,6 | 0,17 | 0,40                                 | 0,67                       | 1,83                       | 0,12                | 0,01                | 0,006                                | 3,21                     |                            |                            |  |
| Курская область          | 46                                       | 1115,237          | 105                                           | 0,13 | 127 | 0,13 | 899   | 0,13                                        | 531   | 0,11 | -    | -    | 3                                           | 30,5 | 553  | 16,6 | 0,17 | 0,40                                 | 0,78                       | 1,34                       | 0,12                | 0,19                | 0,006                                | 3,01                     |                            |                            |  |
| Ленинградская область    | 47                                       | 1763,920          | -                                             | -    | -   | -    | 60    | 0,14                                        | 834   | 0,13 | -    | -    | -                                           | -    | 169  | 55,1 | 0,17 | 0,40                                 | 0,86                       | 3,78                       | 0,12                | 0,08                | 0,006                                | 5,41                     |                            |                            |  |
| Липецкая область         | 48                                       | 1150,201          | 9                                             | 0,10 | 76  | 0,10 | 194   | 0,10                                        | 506   | 0,10 | 9    | 9,4  | 76                                          | 9,5  | 194  | 19,2 | 0,17 | 0,40                                 | 0,60                       | 1,03                       | 0,12                | 0,01                | 0,006                                | 2,34                     |                            |                            |  |
| Магаданская область      | 49                                       | 145,570           | -                                             | -    | -   | -    | 11    | 0,12                                        | 9     | 0,08 | -    | -    | -                                           | -    | -    | -    | 0,17 | 0,40                                 | 0,67                       | -                          | 0,12                | 0,01                | 0,006                                | 1,38                     |                            |                            |  |
| Московская область       | 50                                       | 7503,385          | 40                                            | 0,10 | 37  | 0,11 | 694   | 0,11                                        | 1598  | 0,11 | -    | -    | 5                                           | 10,0 | 414  | 25,7 | 0,17 | 0,40                                 | 0,68                       | 1,69                       | 0,12                | 0,01                | 0,006                                | 3,08                     |                            |                            |  |
| Мурманская область       | 51                                       | 753,557           | -                                             | -    | -   | -    | 74    | 0,12                                        | 501   | 0,11 | -    | -    | -                                           | -    | 74   | 23,0 | 0,17 | 0,40                                 | 0,75                       | 1,64                       | 0,12                | 0,01                | 0,006                                | 3,09                     |                            |                            |  |
| Нижегородская область    | 52                                       | 3258,645          | 5                                             | 0,11 | 22  | 0,10 | 26    | 0,10                                        | 1723  | 0,11 | 5    | 34,6 | 22                                          | 31,2 | 26   | 30,5 | 0,17 | 0,40                                 | 0,64                       | 2,19                       | 0,12                | 0,01                | 0,006                                | 3,53                     |                            |                            |  |
| Новгородская область     | 53                                       | 606,476           | -                                             | -    | -   | -    | 177   | 0,17                                        | 204   | 0,12 | -    | -    | -                                           | -    | 174  | 22,0 | 0,17 | 0,40                                 | 0,96                       | 1,57                       | 0,12                | 0,01                | 0,006                                | 3,24                     |                            |                            |  |
| Новосибирская область    | 54                                       | 2788,849          | -                                             | -    | 145 | 0,11 | 4259  | 0,12                                        | 886   | 0,11 | -    | -    | 82                                          | 36,3 | 4560 | 35,8 | 0,17 | 0,40                                 | 0,69                       | 2,50                       | 0,12                | 0,01                | 0,006                                | 3,90                     |                            |                            |  |
| Омская область           | 55                                       | 1972,682          | 244                                           | 0,13 | 289 | 0,13 | 597   | 0,14                                        | 1082  | 0,12 | 102  | 52,4 | 143                                         | 40,2 | 507  | 31,4 | 0,17 | 0,40                                 | 0,81                       | 2,59                       | 0,12                | 0,01                | 0,006                                | 4,10                     |                            |                            |  |
| Оренбургская область     | 56                                       | 1994,435          | -                                             | -    | 12  | 0,10 | 380   | 0,10                                        | 263   | 0,10 | -    | -    | 16                                          | 43,8 | 220  | 43,6 | 0,17 | 0,40                                 | 0,61                       | 3,01                       | 0,12                | 0,05                | 0,006                                | 4,36                     |                            |                            |  |
| Орловская область        | 57                                       | 754,816           | 72                                            | 0,09 | 121 | 0,09 | 184   | 0,09                                        | 1753  | 0,10 | 72   | 7,0  | 121                                         | 7,2  | 184  | 7,4  | 0,17 | 0,40                                 | 0,58                       | 0,59                       | 0,12                | 0,01                | 0,006                                | 1,88                     |                            |                            |  |
| Пензенская область       | 58                                       | 1348,704          | 19                                            | 0,09 | 91  | 0,11 | 1207  | 0,11                                        | 114   | 0,10 | 2    | 14,5 | 2                                           | 84,5 | 912  | 12,1 | 0,17 | 0,40                                 | 0,64                       | 2,33                       | 0,12                | 0,01                | 0,006                                | 3,68                     |                            |                            |  |
| Пермский край            | 59                                       | 2634,410          | 3                                             | 0,12 | 171 | 0,11 | 2984  | 0,10                                        | 2115  | 0,09 | -    | -    | 106                                         | 23,7 | 1595 | 24,9 | 0,17 | 0,40                                 | 0,61                       | 1,75                       | 0,12                | 0,01                | 0,006                                | 3,07                     |                            |                            |  |
| Псковская область        | 60                                       | 642,164           | 6                                             | 0,10 | 11  | 0,12 | 175   | 0,15                                        | 174   | 0,07 | 6    | 13,2 | 4                                           | 25,0 | 35   | 25,0 | 0,17 | 0,40                                 | 0,65                       | 1,44                       | 0,12                | 0,06                | 0,006                                | 2,85                     |                            |                            |  |
| Ростовская область       | 61                                       | 4231,365          | -                                             | -    | 425 | 0,12 | 10343 | 0,12                                        | 26295 | 0,11 | -    | -    | 121                                         | 33,6 | 782  | 28,7 | 0,17 | 0,40                                 | 0,72                       | 2,17                       | 0,12                | 0,15                | 0,006                                | 3,73                     |                            |                            |  |
| Рязанская область        | 62                                       | 1126,739          | 15                                            | 0,09 | 87  | 0,10 | 569   | 0,10                                        | 3684  | 0,10 | 15   | 18,3 | 46                                          | 24,5 | 411  | 25,6 | 0,17 | 0,40                                 | 0,63                       | 1,77                       | 0,12                | 0,09                | 0,006                                | 3,19                     |                            |                            |  |
| Самарская область        | 63                                       | 3193,515          | 40                                            | 0,09 | 41  | 0,10 | 4331  | 0,10                                        | 442   | 0,09 | 38   | 21,2 | 41                                          | 17,2 | 1667 | 14,3 | 0,17 | 0,40                                 | 0,61                       | 1,16                       | 0,12                | 0,07                | 0,006                                | 2,52                     |                            |                            |  |
| Саратовская область      | 64                                       | 2479,260          | -                                             | -    | 1   | 0,08 | 182   | 0,10                                        | 16    | 0,10 | -    | -    | 1                                           | 25,8 | 172  | 21,5 | 0,17 | 0,40                                 | 0,58                       | 1,68                       | 0,12                | 0,01                | 0,006                                | 2,96                     |                            |                            |  |
| Сахалинская область      | 65                                       | 490,181           | -                                             | -    | -   | -    | 14    | 0,06                                        | 111   | 0,07 | -    | -    | -                                           | -    | 14   | 71,9 | 0,17 | 0,40                                 | 0,37                       | 4,89                       | 0,12                | 0,01                | 0,006                                | 5,96                     |                            |                            |  |
| Свердловская область     | 66                                       | 4329,340          | 323                                           | 0,10 | 301 | 0,11 | 1203  | 0,11                                        | 7144  | 0,09 | 298  | 34,8 | 297                                         | 38,0 | 1046 | 37,9 | 0,17 | 0,40                                 | 0,66                       | 2,60                       | 0,12                | 0,01                | 0,006                                | 3,96                     |                            |                            |  |
| Смоленская область       | 67                                       | 949,350           | 1                                             | 0,14 | 244 | 0,12 | 38    | 0,12                                        | 1638  | 0,12 | 1    | 10,0 | 244                                         | 10,2 | 32   | 10,0 | 0,17 | 0,40                                 | 0,74                       | 0,78                       | 0,12                | 0,01                | 0,006                                | 2,22                     |                            |                            |  |
| Тамбовская область       | 68                                       | 1033,552          | 3                                             | 0,09 | -   | -    | 620   | 0,10                                        | 373   | 0,11 | 3    | 25,7 | -                                           | -    | 702  | 23,0 | 0,17 | 0,40                                 | 0,60                       | 1,67                       | 0,12                | 0,01                | 0,006                                | 2,98                     |                            |                            |  |
| Тверская область         | 69                                       | 1290,277          | 495                                           | 0,10 | 393 | 0,11 | 3065  | 0,10                                        | 2574  | 0,10 | 160  | 16,1 | 148                                         | 16,7 | 903  | 18,0 | 0,17 | 0,40                                 | 0,64                       | 1,25                       | 0,12                | 0,13                | 0,006                                | 2,71                     |                            |                            |  |
| Томская область          | 70                                       | 1078,891          | 672                                           | 0,09 | 73  | 0,10 | 1706  | 0,11                                        | 1062  | 0,10 | -    | -    | -                                           | -    | 761  | 17,6 | 0,17 | 0,40                                 | 0,63                       | 1,28                       | 0,12                | 0,01                | 0,006                                | 2,62                     |                            |                            |  |
| Тульская область         | 71                                       | 1491,854          | -                                             | -    | -   | -    | 1916  | 0,12                                        | 628   | 0,12 | -    | -    | -                                           | -    | 1868 | 32,6 | 0,17 | 0,40                                 | 0,75                       | 2,28                       | 0,12                | 0,01                | 0,006                                | 3,73                     |                            |                            |  |
| Томенская область        | 72                                       | 1498,780          | -                                             | -    | -   | -    | 115   | 0,15                                        | 18    | 0,09 | -    | -    | -                                           | -    | 31   | 8,7  | 0,17 | 0,40                                 | 0,86                       | 0,69                       | 0,12                | 0,01                | 0,006                                | 2,25                     |                            |                            |  |

| Субъект РФ <sup>1)</sup>      | Код <sup>2)</sup> жителей, <sup>3)</sup><br>тыс. чел | Число измерений и мощность дозы <sup>4)</sup> |           |       |           | Число измерений и ЭРОА радона <sup>5)</sup> |           |        |           | Годовая эффективная доза, мЗв/год |          |      |           |
|-------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------|-------|-----------|---------------------------------------------|-----------|--------|-----------|-----------------------------------|----------|------|-----------|
|                               |                                                      | мкЗв/ч                                        |           |       |           | Бк/м³                                       |           |        |           |                                   |          |      |           |
|                               |                                                      | Д                                             | МЭД       | ЧИ    | МЭД       | ЧИ                                          | МЭД       | ЧИ     | МЭД       | ЧИ                                | МЭД      | ЧИ   | МЭД       |
| Ульяновская область           | 73                                                   | 1257,532                                      | 3         | 0,12  | 6         | 0,10                                        | 50        | 0,12   | 104       | 0,09                              | -        | -    | -         |
| Челябинская область           | 74                                                   | 3497,679                                      | 12        | 0,07  | 161       | 0,09                                        | 9340      | 0,13   | 14075     | 0,12                              | 9        | 52,6 | 85        |
| Забайкальский край            | 75                                                   | 1083,013                                      | 183       | 0,21  | 580       | 0,15                                        | 317       | 0,22   | 4304      | 0,14                              | 206      | 94,0 | 38        |
| Ярославская область           | 76                                                   | 1270,736                                      | -         | -     | -         | -                                           | 3350      | 0,09   | 879       | 0,09                              | -        | -    | -         |
| Москва                        | 77                                                   | 12506,467                                     | -         | -     | -         | -                                           | 1333      | 0,12   | 1458      | 0,11                              | -        | -    | -         |
| Санкт-Петербург               | 78                                                   | 5351,940                                      | 11        | 0,11  | 16        | 0,13                                        | 2499      | 0,14   | 385       | 0,12                              | 11       | 21,4 | 16        |
| Еврейская АО                  | 79                                                   | 164,217                                       | 63        | 0,17  | 64        | 0,19                                        | 420       | 0,19   | 183       | 0,18                              | 66       | 36,0 | 70        |
| Республика Крым <sup>6)</sup> | 82                                                   | 1909,637                                      | -         | -     | -         | -                                           | 660       | 0,10   | 3325      | 0,09                              | -        | -    | -         |
| Ненецкий АО                   | 83                                                   | 43,937                                        | -         | -     | -         | -                                           | 37        | 0,10   | 163       | 0,12                              | -        | -    | -         |
| Ханты-Мансийский АО           | 86                                                   | 843,383                                       | 120       | 0,08  | 18        | 0,09                                        | 387       | 0,08   | 213       | 0,07                              | 120      | 16,4 | 18        |
| Чукотский АО                  | 87                                                   | 49,821                                        | -         | -     | 12        | 0,17                                        | 84        | 0,14   | 240       | 0,14                              | -        | -    | -         |
| Ямало-Ненецкий АО             | 89                                                   | 536,090                                       | 12        | 0,14  | 20        | 0,12                                        | 117       | 0,11   | 70        | 0,09                              | 12       | 10,6 | 15        |
| Севастополь <sup>7)</sup>     | 92                                                   | 436,670                                       | -         | -     | -         | -                                           | 10291     | 0,13   | 2737      | 0,11                              | -        | -    | -         |
| Российская Федерация          | 146306,808                                           | 8130                                          | 0,07-0,21 | 11557 | 0,06-0,19 | 126550                                      | 0,05-0,22 | 178138 | 0,04-0,19 | 4417                              | 7,0-94,0 | 5971 | 6,5-161,7 |

<sup>1)</sup> - при заполнении Формы № 4- ДОЗ субъекта Российской Федерации единое программное обеспечение не использовалось.

<sup>2)</sup> Название субъекта Российской Федерации.

<sup>3)</sup> Код субъекта Российской Федерации.

<sup>4)</sup> Число жителей, проживающих в субъекте Российской Федерации.

<sup>5)</sup> Число проведенных измерений (ЧИ) мощности эквивалентной (экспозиционной) дозы в различных типах жилых домов (Д, 1К, МК) и на открытой местности (ОМ) и средние значения результатов измерений (МЭД).

<sup>6)</sup> Число проведенных измерений (ЧИ) эквивалентной равновесной объемной активности изотопов радона в воздухе помещений в различных типах жилых домов (Д, 1К, МК) и средние значения результатов измерений (ЭРОА).

<sup>7)</sup> Среднее значение годовой эффективной дозы облучения взрослых жителей района (населенного пункта) за счет К-40.

<sup>8)</sup> Среднее значение годовой эффективной дозы облучения взрослых жителей района (населенного пункта) за счет космического излучения.

<sup>9)</sup> Среднее значение годовой эффективной дозы внешнего облучения взрослых жителей района (населенного пункта).

<sup>10)</sup> Среднее значение годовой эффективной дозы внутреннего облучения взрослых жителей района (населенного пункта) за счет радона с учетом вклада материнских радионуклидов <sup>222</sup>Rn и <sup>222</sup>Rn.

<sup>11)</sup> Среднее значение годовой эффективной дозы внутреннего облучения взрослых жителей района (населенного пункта) за счет потребления пищи.

<sup>12)</sup> Среднее значение годовой эффективной дозы внутреннего облучения взрослых жителей района (населенного пункта) за счет потребления питьевой воды.

<sup>13)</sup> Среднее значение суммарной годовой эффективной дозы облучения взрослых жителей района (населенного пункта) за счет естественного и техногенно из-мененного радиационного фона.

Среднее значение годовой эффективной дозы облучения за счет потребления питьевой воды.

| Название района <sup>1)</sup><br>(населенного<br>пункта) | Код<br><sup>2)</sup> | Потребление <sup>3)</sup> ,<br>кг/год | Число измерений и средняя удельная активность радионуклида в воде <sup>4)</sup> , мБк/кг |      |                   |     |                   |      |                   |     |                                       |       |                   |       | Годовая<br>эффективная<br>доза <sup>6)</sup> , мЗв/год |
|----------------------------------------------------------|----------------------|---------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|------|-------------------|-----|-------------------|------|-------------------|-----|---------------------------------------|-------|-------------------|-------|--------------------------------------------------------|
|                                                          |                      |                                       | <sup>228</sup> Ra                                                                        | ЧИ   | <sup>228</sup> Ra | ЧИ  | <sup>210</sup> Pb | ЧИ   | <sup>210</sup> Po | ЧИ  | <sup>238</sup> U+<br><sup>234</sup> U | ЧИ    | <sup>222</sup> Rn | ЧИ    |                                                        |
| Российская<br>Федерация                                  |                      | 730                                   | 0,1-<br>347,8                                                                            | 1075 | 0,1-<br>390,0     | 904 | 0,5-<br>126,3     | 1062 | 0,2-<br>35,0      | 763 | 1,0-<br>973,8                         | 12808 | 10,1-<br>125586,2 | 0,049 |                                                        |

<sup>1)</sup> Название района, округа, муниципального образования и др. территориальных единиц субъекта Российской Федерации, а также отдельных входящих в них населенных пунктов.

<sup>2)</sup> 1 - город, 2 - поселок городского типа, 3 - сельский населенный пункт (деревня, село). Заполняется только для населенных пунктов.

<sup>3)</sup> Среднее годовое потребление питьевой воды взрослыми жителями района (населенного пункта).

<sup>4)</sup> Число проведенных измерений (ЧИ) удельной активности радионуклидов в воде источников питьевого водоснабжения жителей района (населенного пункта) и средние значения удельной активности i-го радионуклида в питьевой воде.

<sup>5)</sup> Средние значения удельной активности других природных радионуклидов в питьевой воде, не перечисленных в таблице.

<sup>6)</sup> Среднее значение годовой эффективной дозы облучения взрослых жителей района (населенного пункта) за счет потребления питьевой воды.

Среднее значение годовой эффективной дозы облучения за счет потребления продуктов питания.

| Название района <sup>1)</sup><br>(населенного пункта) | Продукт питания <sup>3)</sup> | Потребление <sup>4)</sup> , кг/год | Число измерений и средняя удельная активность радионуклида в продукте питания <sup>5)</sup> , мБк/кг |                      |    |                   |    |                   |       |                   |    |                   |    |               | Годовая эффективная доза <sup>6)</sup> , мЗв/год |
|-------------------------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----|-------------------|----|-------------------|-------|-------------------|----|-------------------|----|---------------|--------------------------------------------------|
|                                                       |                               |                                    | ЧИ                                                                                                   | <sup>238+234</sup> U | ЧИ | <sup>226</sup> Ra | ЧИ | <sup>228</sup> Ra | ЧИ    | <sup>210</sup> Pb | ЧИ | <sup>210</sup> Po | ЧИ | <sup>6)</sup> |                                                  |
| Российская Федерация                                  | Хлеб                          | 133,7                              | 40                                                                                                   | 20                   | 40 | 80                | 40 | 60                | 65    | 100-230           | 40 | 100               |    |               |                                                  |
|                                                       | Картофель                     | 107,6                              | 35                                                                                                   | 3                    | 35 | 30                |    | 37                | 20-80 | 35                | 30 |                   |    |               |                                                  |
|                                                       | Овощи                         | 97,0                               |                                                                                                      |                      |    |                   |    | 9                 | 94    |                   |    |                   |    |               |                                                  |
|                                                       | Молоко                        | 238,2                              | 39                                                                                                   | 1                    | 39 | 5                 | 39 | 5                 | 46    | 24-40             | 39 | 60                |    | 0,120         |                                                  |
|                                                       | Мясо                          | 37,2                               | 40                                                                                                   | 2                    | 40 | 15                | 40 | 10                | 47    | 70-90             | 40 | 60                |    |               |                                                  |
|                                                       | Рыба                          | 16,0                               | 39                                                                                                   | 30                   | 39 | 100               | 39 | 10                | 48    | 200-221           | 38 | 2000              |    |               |                                                  |

<sup>1)</sup> Название района, округа, муниципального образования и др. территориальных единиц субъекта Российской Федерации, а также отдельных входящих в них населенных пунктов.

<sup>2)</sup> 1 - город, 2 - поселок городского типа, 3 - сельский населенный пункт (деревня, село). Заполняется только для населенных пунктов.

<sup>3)</sup> Компонент рациона питания взрослых жителей района (населенного пункта).

<sup>4)</sup> Среднее годовое потребление продукта питания взрослыми жителями района (населенного пункта).

<sup>5)</sup> Число проведенных измерений (ЧИ) удельной активности радионуклидов в данном продукте питания жителей района (населенного пункта) и средние значения удельной активности i-го радионуклида в продукте питания.

<sup>6)</sup> Средние значения удельной активности других радионуклидов в компоненте рациона питания, не перечисленных в таблице.

<sup>7)</sup> Среднее значение годовой эффективной дозы облучения взрослых жителей района (населенного пункта) за счет потребления компонента рациона питания.

Раздел 4. Годовые эффективные дозы облучения работников природными источниками излучения в производственных условиях

| Название района <sup>1)</sup><br>(населенного пункта) | Предприятие                                                                          | Код<br>пр-ва <sup>3)</sup> | Число работ-<br>ников, которые<br>подвергаются<br>облучению за счет<br>ПНИ <sup>4)</sup> | Доза, мЗв/год |               | Число работ-<br>ников с дозой<br>более 5 мЗв/<br>год <sup>5)</sup> |
|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------|--------------------------------------------------------------------|
|                                                       |                                                                                      |                            |                                                                                          | мин.          | макс. средняя |                                                                    |
| Алтайский Край                                        |                                                                                      |                            |                                                                                          |               |               |                                                                    |
| Барнаул                                               | МУП «Энергетик»                                                                      | 40                         | 11                                                                                       | 0,18          | 0,22          | 0,20                                                               |
| г.Рубцовск, Рубцовск                                  | ОАО «Веселоярский щебеночный завод»                                                  | 14                         | 1                                                                                        | 0,21          | 0,21          | 0,21                                                               |
| г.Рубцовск, Рубцовск                                  | ООО «Рубцовский ЛДК (лесодеревос-перерабатывающий комбинат)»                         | 40                         | 1                                                                                        | 0,21          | 0,21          | 0,21                                                               |
| г.Рубцовск, Рубцовск                                  | Рубцовский филиал АО «Алтайвагон»                                                    | 29                         | 1                                                                                        | 0,20          | 0,20          | 0,20                                                               |
| Р-н Новичихинский район, Новичиха                     | ООО «Новичиха лес»                                                                   | 40                         | 1                                                                                        | 0,18          | 0,18          | 0,18                                                               |
| Р-н Курьинский район, Новофирово                      | ООО «Золото Курьи»                                                                   | 14                         | 1                                                                                        | 0,21          | 0,21          | 0,21                                                               |
| Р-н Курьинский район, Курья                           | ГУП ДХ «Кольванский камнерезный завод им. И.И. Ползунова»                            | 26.7                       | 1                                                                                        | 0,20          | 0,20          | 0,20                                                               |
| Брянская область                                      |                                                                                      |                            |                                                                                          |               |               |                                                                    |
| Брянск                                                | Акционерное общество «Производственное объединение «Бежицкая сталь»                  | 27                         | 22                                                                                       | 0,10          | 0,22          | 0,16                                                               |
| Вологодская область                                   |                                                                                      |                            |                                                                                          |               |               |                                                                    |
| Череповец                                             | АО «Апатит»                                                                          | 24.15                      | 30                                                                                       | 0,51          | 1,12          | 0,57                                                               |
| Череповец                                             | МУП «Водоканал»                                                                      | 41                         | 8                                                                                        | 1,27          | 1,86          | 1,78                                                               |
| Череповец                                             | ПАО «Северсталь»                                                                     | 27                         | 36                                                                                       | 0,90          | 0,90          | 0,90                                                               |
| Калужская область                                     |                                                                                      |                            |                                                                                          |               |               |                                                                    |
| Р-н Бабынинский, Бабынино                             | Закрытое акционерное общество «Угра-Керам»                                           | 26.2                       | 4                                                                                        |               | 0,62          | 0,62                                                               |
| Р-н Кировский, Киров                                  | Акционерное общество «Кировская керамика»                                            | 26.2                       | 12                                                                                       | 0,52          | 0,52          | 0,52                                                               |
| Мурманская область                                    |                                                                                      |                            |                                                                                          |               |               |                                                                    |
| Ковдор                                                | Акционерное общество «Ковдорский горно-обогатительный комбинат»                      | 13                         | 65                                                                                       | 0,55          | 2,09          | 1,56                                                               |
| Ревда                                                 | Общество с ограниченной ответственностью «Ловозерский горно-обогатительный комбинат» | 13                         | 238                                                                                      | 1,70          | 3,15          | 2,65                                                               |
| Омская область                                        |                                                                                      |                            |                                                                                          |               |               |                                                                    |
| Омск                                                  | Акционерное общество «Газпромнефть - Омский НПЗ»                                     | 11                         | 3                                                                                        | 0,35          | 0,35          | 0,35                                                               |
|                                                       |                                                                                      |                            |                                                                                          |               |               | -                                                                  |

| Название района <sup>1)</sup><br>(населенного пункта) | Предприятие                                                                                          | Код<br>пр-ва <sup>3)</sup> | Число работ-<br>ников, которые<br>подвергаются<br>облучению за счет<br>ПИИ <sup>4)</sup> | Доза, мЗв/год |       |         | Число работ-<br>ников с дозой<br>более 5 мЗв/<br>год <sup>5)</sup> |
|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------|---------|--------------------------------------------------------------------|
|                                                       |                                                                                                      |                            |                                                                                          | мин.          | макс. | средняя |                                                                    |
| Омск                                                  | Общество с ограниченной ответ-<br>ственностью «Завод крупнопанельно-<br>го домостроения «Стройбетон» | 26.3                       | 17                                                                                       | 0,37          | 0,40  | 0,38    | –                                                                  |
| Омск                                                  | Общество с ограниченной ответ-<br>ственностью «КСМ «Сибирский<br>железобетон-завод»                  | 26.3                       | 17                                                                                       | 0,32          | 0,36  | 0,35    | –                                                                  |
| Орловская область                                     |                                                                                                      |                            |                                                                                          |               |       |         |                                                                    |
| Орёл                                                  | Общество с ограниченной ответ-<br>ственностью «Керама Марацци»                                       | 26.3                       | 84                                                                                       | 0,95          | 0,95  | 0,95    | –                                                                  |
| Самарская область                                     |                                                                                                      |                            |                                                                                          |               |       |         |                                                                    |
| Отрадный                                              | Акционерное общество<br>«САМАРАНЕФТЕГАЗ»                                                             | 11                         | 50                                                                                       | 0,31          | 0,38  | 0,34    | –                                                                  |
| Тверская область                                      |                                                                                                      |                            |                                                                                          |               |       |         |                                                                    |
| Тверь                                                 | Акционерное общество «ВНИИСВ»                                                                        | 41                         | 15                                                                                       | 0,42          | 0,53  | 0,46    | –                                                                  |
| Тверь                                                 | Общество с ограниченной ответствен-<br>ностью «Тверская генерация» ТЭЦ-3                             | 41                         | 9                                                                                        | 0,54          | 0,64  | 0,60    | –                                                                  |
| Тверь                                                 | Общество с ограниченной ответ-<br>ственностью «Тверь Водоканал»                                      | 41                         | 5                                                                                        | 0,78          | 0,78  | 0,78    | –                                                                  |
| Р-н Конаковский, Конаково                             | Филиал «Конаковская ГРЭС»<br>Публичное акционерное общество<br>«Энел Россия»                         | 40                         | 28                                                                                       | 0,39          | 0,92  | 0,55    | –                                                                  |
| Пермский край                                         |                                                                                                      |                            |                                                                                          |               |       |         |                                                                    |
| Р-н Пермский, Кукуштан                                | Общество с ограниченной ответ-<br>ственностью «УралОйл»                                              | 11                         | 3                                                                                        | 0,33          | 0,34  | 0,33    | –                                                                  |
| Р-н Пермский, Лобаново                                | Общество с ограниченной ответ-<br>ственностью «УралОйл»                                              | 11                         | 3                                                                                        | 0,32          | 0,32  | 0,32    | –                                                                  |
| Р-н Пермский, Курашим                                 | Общество с ограниченной ответ-<br>ственностью «УралОйл»                                              | 11                         | 3                                                                                        | 0,30          | 0,31  | 0,30    | –                                                                  |
| Р-н Пермский, Козубаево                               | Общество с ограниченной ответ-<br>ственностью «УралОйл»                                              | 11                         | 3                                                                                        | 0,30          | 0,32  | 0,31    | –                                                                  |
| Р-н Пермский, Обливка                                 | Общество с ограниченной ответ-<br>ственностью «УралОйл»                                              | 11                         | 3                                                                                        | 0,32          | 0,34  | 0,33    | –                                                                  |
| Р-н Кунгурский, Ергач                                 | Обществ с ограниченной ответствен-<br>ностью «УралОйл»                                               | 11                         | 3                                                                                        | 0,31          | 0,32  | 0,32    | –                                                                  |
| Р-н Кунгурский, Кылосово                              | Общество с ограниченной ответ-<br>ственностью «УралОйл»                                              | 11                         | 6                                                                                        | 0,30          | 0,35  | 0,33    | –                                                                  |

| Название района <sup>1)</sup><br>(населенного пункта) | Предприятие                                             | Код<br>пр-ва <sup>3)</sup>                               | Число работ-<br>ников, которые<br>подвергаются<br>облучению за счет<br>ПНИ <sup>4)</sup> | Доза, мЗв/год |             | Число работ-<br>ников с дозой<br>более 5 мЗв/<br>год <sup>5)</sup> |
|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------------|--------------------------------------------------------------------|
|                                                       |                                                         |                                                          |                                                                                          | мин.          | макс.       |                                                                    |
| Р-н Кунгурский, Александровка                         | Общество с ограниченной ответ-<br>ственностью «УралОйл» | 11                                                       | 2                                                                                        | 0,35          | 0,35        | 0,35                                                               |
| Р-н Кунгурский, Лауки                                 | Общество с ограниченной ответ-<br>ственностью «УралОйл» | 11                                                       | 3                                                                                        | 0,33          | 0,34        | 0,33                                                               |
| Р-н Кунгурский, Троельга                              | Общество с ограниченной ответ-<br>ственностью «УралОйл» | 11                                                       | 3                                                                                        | 0,33          | 0,35        | 0,34                                                               |
| Челябинская область                                   |                                                         |                                                          |                                                                                          |               |             |                                                                    |
| Челябинск                                             | ПАО «Челябинский трубопрокатный<br>завод»               | 27                                                       | 5                                                                                        | 0,22          | 0,27        | 0,25                                                               |
| Российская Федерация                                  | Число предприятий - 35                                  | 40, 14, 29,<br>26.7, 27, 24.15,<br>41, 26.2, 13,<br>26.3 | 697                                                                                      | 0,10 – 1,70   | 0,18 – 3,15 | 0,16 – 2,65                                                        |
|                                                       |                                                         |                                                          |                                                                                          |               |             | 0                                                                  |

<sup>1)</sup> Название района, округа, муниципального образования и др. территориальных единиц субъекта Российской Федерации, а также отдельных входящих в них населенных пунктов.

<sup>2)</sup> 1 - город, 2 - поселок городского типа, 3 - сельский населенный пункт (деревня, село). Заполняется только для населенных пунктов.

<sup>3)</sup> Код производства принимается в соответствии с перечнем видов производств, на которых происходит облучение работников природными источниками излучения

<sup>4)</sup> Указывается число работников организации, которые подвергаются облучению природными источниками излучения (ПНИ). Конкретные рекомендации по отнесению работников орга-  
низации к их числу приведены в инструкции по заполнению данной формы

<sup>5)</sup> Приводятся только данные о числе работников, которые подвергаются облучению природными источниками излучения в дозах более 5 мЗв/год, которые отнесены по условиям труда к персоналу группы А. Сведения о дозах облучения этих работников заносятся в отчетные формы федерального государственного статистического наблюдения № 1-ДЮЗ «Сведения о дозах облучения лиц из персонала в условиях нормальной эксплуатации технических источников ионизирующих излучений»

## Перечень основных отраслей промышленности, на которых происходит облучение работников природными источниками излучения

| Код ОКВЭД | Отрасль промышленности                                                     | Код ОКВЭД | Отрасль промышленности                                                           |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------|-----------|----------------------------------------------------------------------------------|
| 10        | Добыча каменного угля, бурого угля и торфа                                 | 26.7      | Резка, обработка и отделка камня                                                 |
| 11        | Добыча сырой нефти и природного газа; предоставление услуг в этих областях | 26.81     | Производство абразивных изделий                                                  |
| 13        | Добыча металлических руд                                                   | 27        | Металлургическое производство                                                    |
| 14        | Добыча прочих полезных ископаемых                                          | 29        | Производство машин и оборудования                                                |
| 14.50.23  | Добыча природных абразивов, кроме алмазов, пемзы, наждака                  | 31        | Производство электрических машин и электрооборудования                           |
| 24.15     | Производство удобрений и азотных соединений                                | 33.4      | Производство оптических приборов, фото- и кинооборудования                       |
| 26.1      | Производство стекла и изделий из стекла                                    | 34        | Производство автомобилей, прицепов и полуприцепов                                |
| 26.15.81  | Производство оптических элементов из стекла без оптической обработки       | 40        | Производство, передача и распределение электроэнергии, газа, пара и горячей воды |

| Код ОКВЭД                                                                                                                                       | Отрасль промышленности                  | Код ОКВЭД                                                                                                                                                                                                               | Отрасль промышленности                                                                                                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 26.26                                                                                                                                           | Производство огнеупоров                 | 45.21.2                                                                                                                                                                                                                 | Производство общестроительных работ по строительству мостов, надземных автомобильных дорог, тоннелей и подземных дорог |
| 26.3                                                                                                                                            | Производство керамических плиток и плит | 45.21.54                                                                                                                                                                                                                | Производство общестроительных работ по строительству сооружений для горнодобывающей и обрабатывающей промышленности    |
| Справочная информация:                                                                                                                          |                                         |                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                        |
| Общее число жителей Российской Федерации                                                                                                        |                                         | 146306,808                                                                                                                                                                                                              | тыс. чел.                                                                                                              |
| Общее число измерений ЭРОА изотопов радона в воздухе на открытой местности на территории субъекта Российской Федерации                          |                                         | -                                                                                                                                                                                                                       | измерений                                                                                                              |
| Среднее значение ЭРОА изотопов радона в воздухе на открытой местности на территории субъекта Российской Федерации по результатам всех измерений |                                         | 6,5                                                                                                                                                                                                                     | Бк/м <sup>3</sup>                                                                                                      |
| Средства измерений:                                                                                                                             |                                         |                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                        |
| ОА радона в воздухе                                                                                                                             |                                         | МКГБ01, РГГ01Т, РГГ-02Т, комплекс «Прогресс-», комплекс «Прогресс Б-Г-Ар», РРА01М01, комплекс «Камера», радиометр «AlphaGUARD», комплекс «КСИОАР-01», экспозиметры «ТРЕК-РЭИ», «ТРЕК-РЭИ-1М», МКС-01А «Мультирад-гамма» |                                                                                                                        |
| ЭРОА радона в воздухе                                                                                                                           |                                         | РАА10, Рамон, РГА01Т, РГА02Т, Рамон01, Рамон-01М, РРА10, РРА-20П2 «Поиск», РРА-3-01 «Альфа АЭРО»                                                                                                                        |                                                                                                                        |
| ЭРОА торона в воздухе                                                                                                                           |                                         | РАА10, Рамон, РГА01Т, РГА02Т, Рамон01, Рамон-01М, РРА10, РРА-20П2 «Поиск», РРА-3-01 «Альфа АЭРО»                                                                                                                        |                                                                                                                        |
| Мощность дозы                                                                                                                                   |                                         | ДРГ01Т, ДРГ01Т 1, ДБГ06Т, ДКГ «Грач», «Арбитр», ДКГ03Д, ДКСАТ1123, МКС-АТ117М, МКС-АТ6130, МКС-АТ1125, ИСП-РМ1401, ДКС-96, ДРПБ-03, ДКГ-02У, ДКС-96П                                                                    |                                                                                                                        |

## Правила для авторов журнала «Радиационная гигиена»

Научно-практический журнал «Радиационная гигиена» был основан в 2008 г. Журнал представляет собой издание научно-теоретической и практической ориентации, направленное на публикацию оригинальных исследований, экспериментальных, теоретических статей, обзоров, кратких сообщений, дискуссионных статей, отчетов о конференциях, рецензий на работы по актуальным вопросам радиационной гигиены, писем в редакцию, хроники событий научной жизни. Тематика журнала включает актуальные вопросы и достижения в области радиационной гигиены и санитарного надзора за радиационной безопасностью.

Полные тексты электронных версий статей представлены на сайтах Научной электронной библиотеки [www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru) и официальном сайте журнала «Радиационная гигиена» [www.radhyg.ru](http://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](mailto: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](http://www.translit.ru). **Указывается официально принятый английский вариант наименования организаций!**

11. На отдельном листе указываются сведения об авторах: фамилия, имя, отчество (полностью) на русском языке и в транслитерации, ученая степень, ученое звание, должность в учреждении/учреждениях, рабочий адрес с почтовым индексом, рабочий телефон и адрес электронной почты всех авторов. Сокращения не допускаются.

12. После титульного листа размещается резюме статьи на русском и английском языках (объемом не менее 250 слов каждая). Резюме к оригинальной научной статье должно иметь следующую структуру: цель, материалы и методы, результаты, заключение. Все пишется сплошным текстом, без выделения абзацев. Для остальных статей (обзор, лекция, дискуссия) резюме должно включать краткое изложение основной концепции статьи, по сути краткое изложение самой статьи. **Резюме не должно содержать аббревиатур и сокращений, кроме общепринятых в мировой научной литературе.** Резюме является независимым от статьи источником информации для размещения в различных научных базах данных. **Обращаем особое внимание на качество английской версии резюме!** Оно будет опубликовано отдельно от основного текста статьи и должно быть понятным без ссылки на саму публикацию. В конце приводятся **ключевые слова или словосочетания на русском и английском языках** (не более 12) в порядке значимости. **Ключевые слова также не должны содержать аббревиатур и сокращений.**

13. Текст оригинального научного исследования должен состоять из введения и выделяемых заголовками разделов: «Введение», «Цель исследования», «Задачи исследования», «Материалы и методы», «Результаты и обсуждение», «Выводы» или «Заключение», «Литература».

В разделе «Материалы и методы» должны быть четко описаны методы и объекты исследования, источники и вид ионизирующего излучения, дозы, мощность дозы, условия облучения и т.д.

В разделе «Материалы и методы» должны быть четко описаны методы и объекты исследования, источники и вид ионизирующего излучения, дозы, мощность дозы, условия облучения и т.д.

14. Если в статье имеется описание наблюдений на человеке, не используйте фамилии, инициалы больных или номера историй болезни, особенно на рисунках или фотографиях. При изложении экспериментов на животных укажите, соответствовало ли содержание и использование лабораторных животных правилам, принятым в учреждении, рекомендациям национального совета по исследованиям, национальным законам.

15. Все радиационные единицы следует приводить в международной системе единиц измерения (СИ) (см.: ГОСТ – 8.417 – 81 ГСИ. Единицы физических величин»; В.И. Иванов В.П. Машкович, Э.М. Центр. Международная система единиц (СИ) в атомной науке и технике: Справочное руководство. М.: Энергоиздат, 1981. 200 с.). Все результаты измерений, приводимых в статье, должны быть выражены только в системе СИ.

16. При описании методики исследования можно ограничиться указанием на существо применяемого метода со ссылкой на источник заимствования, в случае модификации – указать, в чем конкретно она заключается. Оригинальный метод должен быть описан полностью.

17. При первом упоминании терминов, неоднократно используемых в статье (однако не в заголовке статьи и не в резюме), необходимо давать их полное наименование и сокращение в скобках, в последующем применять только сокращение, однако их применение должно быть сведено к минимуму. Сокращение проводится по ключевым буквам слов в русском написании, например: источник ионизирующего излучения (ИИИ) и т. д. Тип приборов, установок следует вводить на языке оригинала, в кавычках; с указанием (в скобках) страны-производителя. Например: использовали спектрофотометр «СФ-16» (Россия), спектрофлуориметр фирмы «Hitachi» (Япония). Малоупотребительные и узкоспециальные термины также должны быть расшифрованы.

18. Таблицы должны содержать только необходимые данные и представлять собой обобщенные и статистически обработанные материалы. Каждая таблица снабжается заголовком и вставляется в текст сразу после ссылки на нее.

19. Иллюстрации должны быть четкие, контрастные. Цифровые версии иллюстраций должны быть сохранены в отдельных файлах в формате Tiff, с разрешением 300 dpi и последовательно пронумерованы. Подрисовочные подписи должны быть размещены в основном тексте. Перед каждым рисунком, диаграммой или таблицей в тексте обязательно должна быть ссылка. В подписях к микрофотографиям, электронным микрофотографиям обязательно следует указывать метод окраски и обозначать масштабный отрезок. Диаграммы должны быть представлены в исходных файлах. Рисунки (диаграммы, графики) должны иметь подпись всех осей с указанием единиц измерения СИ. Легенда выносится за пределы рисунка.

**20. Необходимо оформлять подписи к рисункам и таблицам, тексты внутри них на русском и на английском языках.**

21. **Библиографические ссылки** в тексте должны даваться цифрами в квадратных скобках в соответствии со списком литературы в конце статьи.

**Пример: В тексте:** Общий список справочников по терминологии, охватывающий время не позднее середины XX века, даёт работа библиографа И.М. Кауфмана [59].

Если авторы не указаны, в отсылке указывают название документа, при необходимости указывают год издания, страницы.

Сведения в отсылке разделяют точкой и запятой.

**Нумеруйте ссылки последовательно, в порядке их первого упоминания в тексте (не по алфавиту)!** Для оригинальных научных статей – не менее 15–20 источников, для лекций и обзоров – не более 60 источников, для других статей – не более 15 источников.

22. К статье прилагаются на отдельном листе **два списка литературы.**

23. **В первом списке литературы (Литература)** библиографическое описание литературных источников должно соответствовать требованиям ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание документа. Общие требования и правила составления».

**Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.**

24. **В списке литературы не следует указывать постановления, законы, санитарные нормы и правила, другие нормативно-методические документы.** Указания на них следует размещать в сносках или внутритекстовых ссылках. Сноски и внутритекстовые ссылки следует представить и на английском языке, написав после английского описания язык текста (In Russ.).

Примеры внутритекстовых ссылок:

.....согласно Норм радиационной безопасности (НРБ 99/2009): (СанПиН 2.6.1.2523 – 09) [перевод на английский язык (In Russ.)]. Или .....согласно 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 vozbuditeley ostrykh kishhechnykh infektsiy u vzroslykh g. Smolenska [Microbiological monitoring of pathogens of acute intestinal infections in adults in Smolensk]. In: Materialy mezhdunarodnogo Yevro-aziatskogo kongressa po infektsionnym boleznyam [International Euro-Asian Congress on Infectious Diseases]. Vol. 1. Vitebsk; 2008. P. 53. (in Russian).

Boetsch G. Le temps du malheur: les representations artistiques de l'epidemie. [Tragic times: artistic representations of the epidemic]. In: Guerici A, editor. La cura delle malattie:

itinerari storici [Treating illnesses: historical routes]. 3rd Colloquio Europeo di Etnofarmacologia; 1st Conferenza Internazionale di Antropologia e Storia della Salute e delle Malattie [3rd European Colloquium on Ethnopharmacology; 1st International Conference on Anthropology and History of Health and Disease]; 1996 May 29-Jun 2; Genoa, Italy. Genoa (Italy): Erga Edizione; 1998. P. 22-32. (in French).

**Ответственность за правильность изложения библиографических данных возлагается на автора.**

**Все статьи печатаются в журнале бесплатно.**

Статьи направляются по адресу: 197101, г. Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8, ФБУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В.Рамзаева». Редакция журнала «Радиационная гигиена» и по e-mail: journal@niirg.ru.

Справки по телефону: (812) 233-42-83 и (812) 233-50-16 (редакция журнала «Радиационная гигиена»). Факс: (812) 233-53-63, 233-42-83.