

**Научно-практический
журнал**

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

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

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

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

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

Издается ежеквартально.

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

Ссылка на журнал «РАДИАЦИОННАЯ ГИГИЕНА» обязательна.

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

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

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

Тираж 200 экз.

ISSN 1998-426X



9 771998 426783 >

Индекс для подписки в агентстве
«Роспечать» – 57988

© «Радиационная гигиена», 2019

РАДИАЦИОННАЯ ГИГИЕНА

RADIATIONNAYA GYGIENA

Председатель редакционного совета
Г.Г. Онищенко

Главный редактор
И.К. Романович



Том 12 № 2(спецвыпуск), 2019

РАДИАЦИОННАЯ ГИГИЕНА

Том 12 № 2(спецвыпуск), 2019

Председатель редакционного совета

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

Главный редактор

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

Заместитель главного редактора

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

Редакционный совет

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Редакционная коллегия

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

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

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

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

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

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

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

Ермолина Елена Павловна — ФГБОУ ДПО Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования Министерства здравоохранения Российской Федерации (Москва, Российская Федерация)

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

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

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

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

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

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

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

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

Санжарова Наталья Ивановна — ФГБУН «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии» Федерального агентства научных организаций, д.б.н., профессор, член-корреспондент РАН (Обнинск, Российская Федерация)

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

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

Quarterly published

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

RADIATION HYGIENE

Chairman of Editorial Council
Gennadiy G. Onishchenko

Editor-in-Chief
Ivan K. Romanovich



RADIATION HYGIENE

Vol. 12 № 2(special issue), 2019

Chairman of Editorial Council

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

Editor-in-Chief

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

Deputy Editor-in-Chief

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

Members of Editorial Council

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Editorial Board

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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 12 № 2(спецвыпуск), 2019

ПРЕДИСЛОВИЕ

К 90-летию со дня рождения доктора медицинских наук, профессора, заслуженного деятеля науки Российской Федерации П.В. Рамзаева 7

ИЗ ИСТОРИИ ГИГИЕНЫ

Онищенко Г.Г., Звонова И.А., Балонов М.И., Рамзаев В.П., Репин В.С.
Научное наследие профессора Павла Васильевича Рамзаева 9

НАУЧНЫЕ СТАТЬИ

Константинов Ю.О.
Защита населения при крупномасштабной радиационной аварии: ослабление негативных социальных последствий защитных мероприятий. Часть 1. Интерпретация дозовых характеристик аварийной ситуации 20

Василенко Е.К., Аладова Е.Е., Горелов М.В., Князев В.А., Колупаев Д.Н., Романов С.А.
Авария 1957 года: радиационная обстановка и дозы облучения участников ликвидации аварии на территории промышленной площадки ПО «Маяк» 31

Миряхьяев В.М., Тиллобоев Х.И., Назаров Х.М., Махмудова М.М., Мирсаидов У.М.
Содержание изотопов ^{210}Po и ^{210}Pb в воде искусственного озера г. Истиклола Республики Таджикистан и их бионакопление в организме рыб 50

Панов А.В., Исамов Н.Н., Кузнецов В.К.
Радиационно-экологический мониторинг в регионе размещения Ростовской АЭС. Анализ результатов многолетних исследований 54

Брук Г.Я., Базюкин А.Б., Братилова А.А., Яковлев В.А.
Закономерности формирования и прогноз доз внутреннего облучения населения Российской Федерации и его критических групп в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС 66

Нилова Е.К., Бортновский В.Н., Тагай С.А., Дударева Н.В., Жукова Л.В.
 ^{241}Am на территориях, прилегающих к белорусскому сектору зоны отселения Чернобыльской АЭС: загрязнение почв, продуктов питания и оценка доз внутреннего облучения населения 75

ОБЗОРЫ

Шандала Н.К., Киселев С.М., Титов А.В.
Научно-практический опыт надзорной деятельности в области обеспечения защиты населения и окружающей среды на объектах ядерного наследия России 83

Маренный А.М., Киселев С.М.
Национальные радоновые программы: опыт реализации и задачи на перспективу 97

CONTENTS

Vol. 12 № 2(special issue), 2019

FOREWORD

To commemorate the 90th anniversary of the birth of doctor of medical sciences, professor, honored worker of science of the Russian Federation P.V. Ramzaev 7

FROM HYGIENE HISTORY

Onischenko G.G., Zvonova I.A., Balonov M.I., Ramzaev V.P., Repin V.S.
Scientific legacy of professor Pavel Vasilyevich Ramzaev 17

RESEARCH ARTICLES

Konstantinov Yu.O.
Protection of the public in a large-scale radiation accident: mitigation of negative social consequences of protective actions. Part 1. Interpretation of dose characteristics of emergency 29

Vasilenko E.K., Aladova E.E., Gorelov M.V., Knyazev V.A., Kolupaev D.V., Romanov S.A.
The 1957 accident: radiological situation and radiation doses of participants in the liquidation of the accident on the territory of PA "Mayak" industrial site 48

Miryakhyayev V.M., Tilloboev Kh.I., Nazarov Kh.M., Makhmudova M.M., Mirsaidov U.M.
 ^{210}Po and ^{210}Pb Isotopes Content in the Water of Artificial Lake of Istiklol City of the Republic of Tajikistan and their Bioaccumulation in the Fish 53

Panov A.V., Isamov N.N., Kuznetsov V.K.
Radioecological monitoring in the vicinity of Rostov NPP. The analysis of results of long-term investigations 64

Bruck G.Ya., Bratilova A.A., Bazyukin A.B., Yakovlev V.A.
Trends of development and prediction of the doses from the internal exposure of the public of the Russian Federation and its critical groups in the distant post-Chernobyl NPP accident period 73

Nilova E.K., Bortnovsky V.N., Tagai S.A., Dudareva N.V., Zhukova L.V.
 ^{241}Am on the territories adjacent to the Belarusian sector of the Chernobyl NPP resettlement zone: soil contamination, foodstuffs and population internal dose assessment 81

REVIEWS

Shandala N.K., Kiselev S.M., A.V.
Scientific and practical experience of supervisory activities in the field of the public and environmental protection at the Russian nuclear legacy sites 94

Marennyy A.M., Kiselev S.M.
The national radon program: Implementation experience and challenges for the future 107

СОДЕРЖАНИЕ

Том 12 № 2(спецвыпуск), 2019

САНИТАРНО-ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКИЙ НАДЗОР

*Симаков А.В., Романов В.В., Абрамов Ю.В.,
Проскурякова Н.Л.*

Актуальные задачи радиационной гигиены 109

*Ломовцев А.Э., Шевелева Т.Е., Карпухин А.С.,
Володичева А.И.*

**Радиационно-гигиенический мониторинг и оценка
доз облучения населения, проживающего
на радиоактивно загрязненных территориях
Тульской области 115**

Пивоваров А.А., Пивоварова Е.А., Курганов В.Е.

**О разработке контрольных уровней удельной
суммарной альфа-активности проб воды
для ряда источников централизованного
хозяйственно-питьевого водоснабжения
в Республике Хакасия 121**

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ ЖУРНАЛА

«РАДИАЦИОННАЯ ГИГИЕНА» 129

CONTENTS

Vol. 12 № 2(special issue), 2019

SANITARY AND EPIDEMIOLOGICAL SURVEILLANCE

Simakov A.V., Romanov V.V., Abramov Yu.V., Proskuryakova N.L.

Current tasks of radiation health physics..... 113

Lomovtsev A.E., Sheveleva T.E., Karpukhin A.S., Volodicheva A.I.

**Radiation-hygienic monitoring and assessment
of the doses of the public residing on the radioactively
contaminated territories of the Tula region 119**

Pivovarov A.A., Pivovarova E.A., Kurganov V.E.

**About development of control levels of specific total
alpha-activity in water samples for a number
of sources of the centralized economic and drinking
water supply in the Republic of Khakassia..... 127**

JOURNAL OF RADIATION HYGIENE –

INSTRUCTIONS FOR AUTHORS..... 129

К 90-летию со дня рождения доктора медицинских наук, профессора, заслуженного деятеля науки Российской Федерации П.В. Рамзаева

Уважаемые коллеги, авторы, читатели!

Перед Вами внеочередной, специальный выпуск журнала «Радиационная гигиена», посвященный 90-летию со дня рождения доктора медицинских наук, профессора, заслуженного деятеля науки Российской Федерации Павла Васильевича Рамзаева - ученого, чье имя носит наш Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены и внесшего значительный вклад в развитие радиационной гигиены у нас в стране и за рубежом.

Наиболее полно выдающийся талант ученого проявился у Павла Васильевича после его прихода на работу в 1960 г. в Ленинградский НИИ радиационной гигиены, где он прошел путь от старшего научного сотрудника до директора института. Научные труды профессора П.В. Рамзаева посвящены многим направлениям радиационной гигиены, а мировую славу принесли радиационно-гигиеническая оценка последствий испытаний ядерного оружия вследствие глобальных радиоактивных выпадений в районах Крайнего Севера СССР и изучение радиационной обстановки и оценка последствий аварии на Чернобыльской АЭС.

Сотрудники Санкт-Петербургского НИИ радиационной гигиены верны традициям, заложенным профессором П.В. Рамзаевым, и достойно продолжают представлять гигиеническую науку в России и в международных организациях – НКДАР ООН, МКРЗ, МАГАТЭ. Молодым ученым Института научный путь П.В. Рамзаева – пример



истинного и бескомпромиссного служения науке, широты суждений, организованности, трудоспособности и стремления к достижению новых знаний.

Заслуги профессора П.В. Рамзаева увековечены в названии Института, учреждена памятная медаль имени профессора П.В. Рамзаева «За вклад в развитие радиационной гигиены».

Уважаемый читатель! В данном номере журнала представлены статьи авторов в области радиационной гигиены, развивающие научные направления, которым Павел Васильевич посвятил более 40 лет своей жизни. Обеспечение радиационной безопасности, развитие гигиенического нормирования являются важнейшими направлениями в обеспечении санитарно-эпидемиологического благополучия населения нашей страны.

Уверен, что представленные материалы будут интересны и полезны для всех специалистов, работающих в области радиационной гигиены и обеспечения радиационной безопасности населения и будут служить научной платформой, объединяющей ученых и практиков различных ведомств, организаций и стран.

*Главный редактор журнала «Радиационная гигиена»
Директор Санкт-Петербургского научно-исследовательского
института радиационной гигиены
имени профессора П.В. Рамзаева
доктор медицинских наук, профессор,
член-корреспондент РАН
И.К. Романович*

Научное наследие профессора Павла Васильевича Рамзаева

Г.Г. Онищенко^{1,3}, И.А. Звонова², М.И. Балонов², В.П. Рамзаев², В.С. Репин²

¹Российская академия наук, Москва, Россия

²Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

³Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет), Москва, Россия

В статье рассмотрены основные направления научной и организаторской деятельности профессора П.В. Рамзаева во время его работы в Научно-исследовательском институте радиационной гигиены. В частности, в систематизированном виде приводятся результаты исследования глобальных радиоактивных выпадений на Крайнем Севере СССР, а также изучения радиационной обстановки и оценки доз облучения населения после аварии на Чернобыльской АЭС. Показана ведущая роль П.В. Рамзаева в развитии методологии гигиенического нормирования и разработке теории здоровья. Детально обсуждается деятельность П.В. Рамзаева в составе Международной комиссии по радиологической защите. Показана роль П.В. Рамзаева в разработке закона «О радиационной безопасности населения».

Ключевые слова: Рамзаев Павел Васильевич, радиационная гигиена, глобальные выпадения, Чернобыльская авария, гигиеническое нормирование, Международная комиссия по радиологической защите.

Введение

2 июля 2019 г. исполнилось 90 лет со дня рождения выдающегося ученого-гигиениста, доктора медицинских наук, профессора Павла Васильевича Рамзаева. 42 года своей жизни он отдал Научно-исследовательскому институту радиационной гигиены (НИИРГ) и 32 из них были его директором (1970–2002). Годы его директорства был периодом расцвета института и временем серьезных испытаний, из которых институт вышел с высокой научной репутацией и международным признанием. Отмечая заслуги директора, коллектив Института обратился в Роспотребнадзор с просьбой увековечить имя П.В. Рамзаева в названии института; просьба была удовлетворена, и с 2005 г. в название института включено имя профессора П.В. Рамзаева. Чем он заслужил такую честь и память?

Окончив сельскую школу в голодные годы войны в Горьковской области, П.В. Рамзаев поступил в Горьковский медицинский институт, затем перешел на военный факультет Саратовского медицинского института, где и получил диплом военного врача в 1952 г. Огромная работоспособность, упорство, целеустремленность в освоении профессии послужили ему пропуском в адъюнктуру Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова. На кафедре общей и военной гигиены

он успешно прошел обучение в адъюнктуре и в 1956 г. защитил кандидатскую диссертацию по исследованию теплового обмена человека.

Работа на старейшей в стране гигиенической кафедре, учрежденной указом императора Александра II в 1865 г., которой руководили выдающиеся ученые-гигиенисты, заложили в П.В. Рамзаеве глубокий интерес и уважение не только к экспериментальным исследованиям, но также и к теоретическим основам гигиенической науки, в разработку которых он внес позднее свой весомый вклад. В период его обучения в адъюнктуре на кафедре общей и военной гигиены зародилось новое направление – радиационная гигиена. В 1956 г. после объединения кафедр общей и военной гигиены начальник кафедры общей гигиены профессор член-корреспондент АМН СССР Николай Федорович Галанин стал первым директором созданного в 1956 г. Научно-исследовательского института радиационной гигиены Минздрава РСФСР. В 1960 г. П.В. Рамзаев уволился с военной службы и перешел в НИИРГ на должность старшего научного сотрудника, затем заведующего лабораторией, заместителя директора и в 1970 г. вступил в должность директора. В настоящей статье обобщены основные результаты научной и практической деятельности П.В. Рамзаева за время работы в НИИРГ.

Звонова Ирина Александровна

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: ir_zv@bk.ru

Vol. 12 № 2(special issue), 2019 RADIATION HYGIENE

Определены константы обмена ^{137}Cs у оленеводов и их взаимосвязь с элементами водно-солевого обмена.

Хотя дозы облучения оленеводов от ^{137}Cs могут достигать 10-кратного предельно допустимого уровня для населения в целом, приемлемыми являются только те защитные мероприятия, которые не связаны с дополнительными материальными затратами, т.к. явный вред такого облучения, по сравнению с другими факторами вредности, не установлен.



[Fig. 1. Areas surveyed during the execution of doctoral dissertation by P.V. Ramzaev. A photocopy of figure 1 in the dissertation by P.V. Ramzaev]



[Fig. 2. P.V. Ramzaev (the third from right in the top row) in one of the villages of the Far North among reindeer herders, 1965. Photo from the family archive]

Необходимо отметить, что в то время в СССР работы по изучению последствий ядерных испытаний имели весьма существенные ограничения в части публичного представления результатов выполненных исследований. Диссертационная работа П.В. Рамзаева не стала исключением. Тем не менее, некоторые материалы, полученные

ные в рамках этого и других исследований, проводившихся в НИИРГ по пищевой цепочке «лишайник – северный олень – человек», удалось впервые представить в форме доклада от коллектива авторов (М.А. Невструева, П.В. Рамзаев, А.А. Моисеев, М.С. Ибатуллин, Л.А. Теплых) на крупном международном радиоэкологическом симпозиуме «Radioecological Concentration Processes», который прошел в Стокгольме (Швеция) в апреле 1966 г. Этот доклад и его публикацию в материалах симпозиума в 1967 г. [1] можно считать отправной точкой начала вхождения П.В. Рамзаева в мировую научную элиту.

Обобщенные результаты исследований П.В. Рамзаева в соавторстве с другими исследователями из НИИРГ по глобальным выпадениям были опубликованы в журналах «Атомная энергия», «Медицинская радиология» «Гигиена и санитария», «International Journal of Radiation Hygiene» [2–6]. Более подробный перечень трудов П.В. Рамзаева приведен в [7]. Особое место среди доступных публикаций занимает монография «Цезий-137 в биосфере», написанная П.В. Рамзаевым в соавторстве с А.А. Моисеевым в 1975 г. [8]. В книге, рассчитанной на широкий круг читателей, большое внимание уделено переносу радиоактивного цезия по пищевым цепочкам в некоторых районах СССР, включая Крайний Север.

Результаты работ П.В. Рамзаева и выводы, полученные при исследовании глобальных выпадений на территории СССР, не потеряли свою актуальность и по сей день. Они использовались для: 1) создания современной модели поведения радионуклидов цезия и стронция в арктических экосистемах [9, 10], 2) анализа последствий так называемых «мирных» подземных ядерных взрывов в Арктике [11, 12], 3) изучения последствий Чернобыльской аварии и разработке мер защиты населения; 4) изучения выпадений радионуклидов цезия на Дальнем Востоке России после аварии на АЭС «Фукусима-1» [13–15].

Чернобыльская авария

В период ликвидации последствий Чернобыльской аварии П.В. Рамзаев возглавил работы по изучению радиационной обстановки и оценке доз облучения населения загрязненных территорий Российской Федерации, разработке защитных мероприятий и регламентаций радиационного воздействия на население вовлеченных территорий. Под его руководством НИИРГ выполнял следующие задачи: 1) всестороннее изучение радиационной обстановки на загрязненных территориях; 2) измерения содержания радионуклидов (вначале йода-131, затем радионуклидов цезия) в организме людей, выехавших или проживавших в районах радиоактивного загрязнения; 3) определение путей формирования дозы облучения населения; 4) разработка мер защиты населения с позиций взвешивания пользы от снижения дозы и вреда от их введения. Отметим, что опыт применения портативных полевых радиометров при исследованиях содержания цезия-137 в организме оленеводов на Крайнем Севере оказался чрезвычайно полезным при организации массового радиометрического обследования жителей территорий, загрязненных радиоактивными выпадениями, летом 1986 г.

Относительно взвешивания пользы и вреда позиция П.В. Рамзаева была особенно принципиальной:

необходимо внедрять только те мероприятия, польза от которых будет больше, чем вред от их проведения, включая экономическую оценку и социально-психологическое воздействие на население. Защитные мероприятия следует проводить, ориентируясь на дозы, которые прогнозируются с использованием наиболее реалистичных данных для прогноза. При этом следует учитывать, что детерминированные эффекты облучения не выявляются при дозах менее 100 мЗв в год и менее 1 Зв за всю жизнь; стохастические эффекты при малых дозах (менее 100 мЗв за жизнь) будут статистически не различимы на фоне спонтанной онкологической заболеваемости [16].

Деятельность НИИРГ по преодолению последствий Чернобыльской аварии и смягчению её воздействия на население базировалась на методических принципах обеспечения реалистических оценок и прогноза радиационной обстановки и доз облучения населения, на основании чего предлагались научно обоснованные взвешенные рекомендации по защите населения. Например, летом 1986 г. на основании реалистического подхода с использованием результатов проведенного в июле – августе 1986 г. обследования жителей на содержание радионуклидов цезия в организме и измерений радиоактивности продуктов местного производства удалось убедить правительство РСФСР в прогнозируемом непревышении регламентированного на первый год после аварии временного допустимого уровня облучения населения 100 мЗв/год. Тем самым было предотвращено официально намеченное по консервативному прогнозу массовое переселение в августе – сентябре 1986 г. более 80 тысяч жителей 59 населенных пунктов западных районов Брянской области. Авторитет и аргументированная позиция П.В. Рамзаева сыграли решающую роль в отмене этого необоснованного предложения, сохранив многие годы здоровой жизни тысячам людей.

Осенью 1986 г. ЦК КПСС и Правительство СССР запросили у ученых прогноз медицинских последствий Чернобыльской аварии для населения страны. Методика такого прогноза была разработана в НИИРГ как для России, так и для всего СССР. Эти прогнозы позволили Правительству планировать комплекс мер защиты населения и реабилитации территорий, загрязненных радионуклидами.

В 1987 г. методика и результаты прогноза медицинских последствий аварии были доложены на Всесоюзном симпозиуме «Ближайшие и отдаленные последствия радиационной аварии на Чернобыльской АЭС», подводившем итоги работы научных и практических учреждений здравоохранения по ликвидации последствий аварии в 1986 г. [17]. Представленный прогноз, основанный на реалистичных, а не «консервативных» оценках доз облучения населения и оценках риска радиогенной онкологической заболеваемости, показал практическое отсутствие радиологических последствий для здоровья населения, кроме случаев рака щитовидной железы, обусловленных воздействием радиоизотопов йода в первые дни и недели после аварии, особенно у детей. В то же время отмечалось, что главным вредным последствием Чернобыльской аварии для населения будет психологический стресс от эвакуации и переселения, от проживания вблизи

зоны аварии, от вынужденных ограничений в питании и образе жизни.

Результаты обследования в 1986 г. позволили обосновать такие меры радиационной защиты, как рекомендация ограничения потребления местных пищевых продуктов и проведение дезактивации населенных пунктов. Реализация этих мер снизила накопленную дозу у населения вдвое, что было особенно существенно для наиболее загрязненных населенных пунктов. В то же время специалисты института во главе с профессором П.В. Рамзаевым трезво оценивали негативные последствия ограничительных мер, обеспечивших соблюдение установленных временных пределов доз облучения, но нарушавших привычный уклад жизни населения, изменивших рацион питания и хозяйственное функционирование территории.

Особенно опасным для здоровья защитным мероприятием П.В. Рамзаев считал переселение, которое, по его оценке, вело к трудно переживаемому психоэмоциональному стрессу, сокращающему жизнь переселенца в среднем на 8 лет [18]. Павел Васильевич научно обосновывал, что переселение следует считать оправданным и обязательным при ожидаемых эффективных дозах более 100 бэр (1 Гр) за жизнь или 10 бэр (0,1 Гр) ежегодно в течение 10 лет: «При меньших дозах отселение считать более вредным для здоровья, чем предотвращаемое облучение» [18]. При меньших прогнозируемых дозах должны применяться другие меры защиты населения «под строгим контролем соотношения польза – вред». Он призывал проводить зонирование загрязненных территорий с принятием соответствующих мер защиты только на основе средних доз населения, при этом территорию с эффективной дозой до 1 мЗв в год надо считать чистой зоной, не требующей никакого вмешательства; от 1 до 10 мЗв в год – зоной строгого контроля; от 10 до 100 мЗв/год – зоной возможного отселения и свыше 100 мЗв в год – зоной отчуждения. Конечно, такие взгляды, хотя и подтвержденные авторитетными экспертизами представителей международных организаций, занимающихся радиационной защитой, были весьма непопулярны и вызвали истеричную критику, а сам автор подвергался оскорбительной обструкции.

П.В. Рамзаев активно поддерживал и пропагандировал предложенную НКРЗ в 1988 г. концепцию безопасного проживания на основе предела дозы за жизнь 35 бэр (350 мЗв). Предел дозы 350 мЗв за жизнь примерно удваивал среднюю дозу облучения населения от естественного фона и медицинского облучения, при этом гипотетическое число дополнительных радиогенных раков, рассчитываемое на основе линейной беспороговой модели действия радиации, составляло сотые доли от спонтанного уровня онкологической смертности, то есть не могло быть обнаружено.

Концепция 35 бэр за жизнь была утверждена Минздравом СССР 18 июля 1988 г. Однако впоследствии в силу запугивания населения тенденциозными, пугающими обсуждениями в СМИ последствий аварии, политической борьбы новых партий с использованием тематики Чернобыля на фоне развала государственного строя эта концепция была официально отвергнута решением Верховного Совета СССР 25 апреля 1990 г. Взамен неё в мае 1991 г. был принят закон «О социальной защите граж-

дан, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС». Защитные мероприятия по снижению уровней облучения (включая отселение), а также меры социального характера (включая льготы и денежные компенсации населению) привязаны в законе к зонированию по плотности загрязнения цезием-137. К зонам радиоактивного загрязнения отнесли территории с плотностью загрязнения больше 1 Ки/км² (37 кБк/м²). Это привело к неоправданному многократному увеличению числа жителей, причисленных к пострадавшим от аварии и к огромному неэффективному расходованию государственных средств, «размазанному» по малозагрязненным территориям, без учета полученного радиационного воздействия – то, против чего всегда выступал П.В. Рамзаев.

Как отмечал академик Л.А. Ильин, руководивший по линии Минздрава работами по минимизации медицинских последствий аварии, вклад П.В. Рамзаева в исследование радиационной обстановки и организацию защитных мероприятий для населения трудно переоценить [19]. Годы, прошедшие после Чернобыльской аварии, подтвердили правоту взвешенного и ответственного подхода П.В. Рамзаева к разработке защитных мероприятий, с учетом научно подтвержденных данных о действии радиации на здоровье человека, качества жизни и экономических последствий для государства.

Развитие методологии гигиенического нормирования

Наряду с экспериментальными исследованиями, П.В. Рамзаева всегда интересовали фундаментальные вопросы гигиенической науки. Прежде всего именно он сформулировал определение радиационной гигиены как совокупности трех составляющих – дозиметрии, радиобиологии и защиты, направленных на охрану здоровья человека. Все эти три направления активно развивались в НИИРГ [20].

Значительное место в творчестве П.В. Рамзаева занимали вопросы гигиенического нормирования и ключевого понятия, лежащего в основе методологии нормирования вредных факторов, – величины здоровья (рис. 3). Основные взгляды по данным вопросам были изложены в серии статей, опубликованных в сборниках научных трудов «Радиационная гигиена» с 1978 по 1990 г. [21–27].

Первоначально была сформулирована общая проблема, стоящая перед специалистами, разрабатывающими гигиенические нормативы, а именно отсутствие общепризнанного определения понятия «здоровье» [21]. По мнению П.В. Рамзаева, все существующие показатели здоровья можно разделить на 3 группы:

- общественно значимые;
- биологические, связь которых с общественно значимыми известна;
- показатели, значение которых пока не известно исследователям.

К общественно значимым показателям предложено отнести: продолжительность жизни, временной интеграл (за всю жизнь) умственной и физической работоспособности, воспроизводство здорового потомства и самочувствие (интеграл за жизнь). Перечень этих показателей, по мнению Павла Васильевича, носит законченный характер,



Рис. 3. П.В. Рамзаев представляет свою концепцию величины здоровья. 1990-е гг.

[Fig. 3. P.V. Ramzaev presents his concept of the magnitude of health. 1990s.]

а величина здоровья, при таком взгляде и подходе может быть представлена в виде некоторой суммы взвешенных между собой перечисленных четырех общественно значимых показателей. В качестве одного из вариантов такого суммирования и взвешивания величина здоровья (З) в условных годах полноценной жизни может быть представлена в виде в формулы:

$$З = \frac{0,7(B + P + \Pi + C)}{4}$$

где В — время продолжительности жизни,

Р — интеграл работоспособности (умственной и физической) за всю жизнь,

Π — воспроизводство здорового потомства,

С — интеграл за всю жизнь уровня самочувствия.

Каждый показатель в данном варианте количественной оценки величины здоровья выражается в %. За 100% принимается 70 лет продолжительности жизни или интеграл среднего уровня работоспособности, самочувствие (в баллах) у людей интактной группы (не подвергающейся воздействию), вероятность (или факт) рождения двух здоровых детей.

Опубликовав такой взгляд на понятие «Здоровье», Павел Васильевич стал основоположником нового научного направления в теории и методологии гигиенического нормирования, а в качестве методологической основы гигиенической оценки пользы и вреда в системе нормирования вредных факторов любой природы предложил

использовать единый общественно значимый показатель — «величину здоровья».

Следующим шагом к развитию теории нормирования стала статья П.В. Рамзаева «Элементы общей теории нормирования в радиационной гигиене» [22]. В данной статье Павел Васильевич полемизирует со сторонниками двух основных принципов нормирования: тех, кто отстаивает наличие порога, и тех, кто стоит на позиции «приемлемого риска». Наличие столь противоположных подходов к нормированию Павел Васильевич объясняет отсутствием общей теории нормирования.

Суть основного принципа нормирования сводится, по мнению Павла Васильевича, к взвешиванию пользы X и вреда Y_2 (затраты на обеспечение норматива) и Y_1 (вред здоровью) и обеспечению доминирования первой над второй, когда: $X - (Y_2 + Y_1) = \text{макс}$. При пороговом нормировании Y_1 в данном уравнении принимается равным нулю, а по приемлемому риску этот же член уравнения выбирается произвольно на уровне 10^{-4} дополнительной пожизненной смертности от облучения. В обоих случаях значения остальных параметров, в такой же мере важных, как и Y_2 , в теории не уточняются, не взвешиваются. Таким образом, вновь возникает проблема отсутствия единицы взвешивания, то есть нет общей центральной величины для многообразных форм пользы и вреда. Отсутствие такой величины служит главным тормозом в разработке теории нормирования, даже если и известны принцип (взвешивание) и основной его закон (максимизация пользы).

Размышления Павла Васильевича о том, возможна ли вообще одна объединяющая величина для таких качественно различных реальностей, как доза облучения, ущерб здоровью, измеряемый тысячами параметров на тринадцати уровнях организации живой материи (начиная с элементарных частиц до космического уровня жизни), различные виды пользы, имеющие, как правило, стоимостное выражение, вновь привели его к мысли использовать «величину здоровья» в качестве центральной величины.

Подводя итог своим размышлениям по проблеме нормирования, Павел Васильевич писал, что предлагаемая теория нормирования в радиационной гигиене еще не может рассматриваться законченной в своем развитии. Предложены, а скорее названы лишь в первом приближении ее составные элементы. Они устраняют существующие недостатки противоречивых подходов с позиций порога или риска и обобщают их позитивные аспекты. Решение задачи нормирования в рамках этой теории не зависит от того, существует порог или нет, и определяется фактическим ходом зависимости доза — эффект по величине здоровья. На выяснение этой зависимости и должны быть направлены в первую очередь усилия радиационных гигиенистов.

Международная научная деятельность П.В. Рамзаева

На протяжении всего периода своего существования НИИРГ осуществлял активное международное сотрудничество в области радиационной гигиены и радиационной безопасности с международными организациями (МАГАТЭ, ВОЗ, МКРЗ, НКДАР ООН), а также с национальными организациями, институтами и научно-исследовательскими учреждениями более десяти стран мира.

Решающую роль в развитии сотрудничества играло понимание Павлом Васильевичем пользы такого сотрудничества для России и желание представить новые отечественные данные и нормативно-методические разработки мировому научному сообществу.

Как указывалось выше, уже ранняя работа П.В. Рамзаева по гигиенической оценке последствий испытаний ядерного оружия для районов Крайнего Севера СССР, начатая в 1960-х гг., принесла ему международную известность. Аналогичные работы по радиозоологии ^{137}Cs из состава глобальных выпадений проводили в этот же период специалисты скандинавских стран и Северной Америки. Выступление П.В. Рамзаева на международной конференции в Стокгольме в 1966 г. [1] и публикация серии докладов для НКДАР ООН [26–33] были восприняты зарубежными коллегами с большим интересом и пониманием. В свою очередь, Павел Васильевич оценил полезность контактов с мировым радиологическим сообществом и стремился к ним на протяжении всей своей научной карьеры.

В 1973 г. П.В. Рамзаев как высококомпетентный ученый был представлен от СССР в МКРЗ. В этой неправительственной организации, которая разрабатывает для всего мира основные научные рекомендации по радиационной защите человека и окружающей среды, Павел Васильевич проработал 6 сроков по 4 года, всего 24 года, больше, чем кто-либо из ученых СССР и его стран-наследниц. Широкий научный кругозор и активный интерес к развитию современной радиационной гигиены позволили Павлу Васильевичу последовательно и успешно работать по два срока в Комитете 2 МКРЗ (Дозы излучения), Комитете 1 (Биологические эффекты) и в последние 8 лет быть членом Главной комиссии МКРЗ.

Период работы П.В. Рамзаева в составе Комитета 2 (1973–1981) пришелся на время радикальных изменений в дозиметрии внутреннего облучения. Именно в это время были разработаны модели транспорта радионуклидов в организме человека, которые до сих пор используются для целей защиты персонала во всем мире. Вклад Павла Васильевича в эту работу состоял в предоставлении собственных уникальных данных о коэффициентах всасывания в ЖКТ человека радиологически значимых радионуклидов природного происхождения ^{210}Pb и ^{210}Po [33–35] и количественных данных об обмене ^{137}Cs в организме человека [31].

За время своей работы в МКРЗ Павел Васильевич участвовал в подготовке двух базовых публикаций, МКРЗ-26 и МКРЗ-60, которые носили революционный характер и определили развитие радиационной гигиены в мире на многие десятилетия. В дальнейшем П.В. Рамзаев внедрил новые подходы к радиационной защите и нормированию через понятие эффективной дозы вместо концепции критического органа в отечественное регулирование – в закон «О радиационной безопасности населения» и в Нормы радиационной безопасности НРБ-96 [36], что также было революционным событием для российской атомной промышленности и науки. Лишь недавно началось обновление регулирующих документов стран в духе новой базовой публикации МКРЗ-103.

В работе Павла Васильевича интересовали как отдельные радиобиологические феномены (радиозология Арктики и др.), так и общие концептуальные вопросы. Среди них – медико-биологические эффекты малых доз радиации, взвешивание пользы и вреда от радиационного источника, а также описанная выше «теория здоровья». Все эти новые направления радиационной гигиены Павел Васильевич внедрял в исследовательскую работу лабораторий НИИРГ. Научное обоснование величины здоровья как единого обобщенного показателя пользы и вреда, оценки неблагоприятного воздействия на организм человека ионизирующего излучения и связанного с ним единого критерия в системе нормирования ионизирующего излучения и других вредных факторов, нашли свое отражение в ряде публикаций МКРЗ и тем самым – в современной международной системе радиационной защиты.

Сессии МКРЗ проходили один раз в год, и Павел Васильевич готовился к ним очень ответственно, рецензируя проекты документов для обсуждения и готовя собственные к ним предложения. По возвращении он всегда проводил заседания Ученого совета НИИРГ, где подробно докладывал научному составу новости международной науки: содержание основных дискуссий, тенденции развития, обсуждение новых документов МКРЗ и т.д. Обсуждение материалов МКРЗ на заседаниях Ученого совета бывало продолжительным. Благодаря этой просветительской деятельности П.В. Рамзаева научный состав НИИРГ был в курсе новых международных данных и разработок.

П.В. Рамзаев привозил для своей работы и ознакомления научного состава НИИРГ документы МКРЗ и их проекты. Среди них была важная публикация 40 МКРЗ, посвященная реагированию на радиационные аварии. По инициативе Павла Васильевича сотрудники НИИРГ были также знакомы с публикациями НКДАР ООН, в частности 1977 и 1982 гг., где всесторонне были проанализированы вопросы воздействия радиации на организм человека. Знакомство сотрудников НИИРГ не только с отечественными нормативно-методическими документами по этой теме¹, но и с международными пришлось очень кстати, когда в 1986 г. нам пришлось вплотную заниматься вопросами радиационной защиты населения РСФСР после Чернобыльской аварии.

Как члена МКРЗ с большим стажем П.В. Рамзаева неоднократно приглашали в качестве эксперта международные научные организации, он представлял Россию на совещаниях МАГАТЭ, где обсуждались актуальные вопросы радиационной гигиены. Так, в начале 1980-х гг. он участвовал в международной экспертизе научных данных по оценке медицинских последствий атомных бомбардировок в 1945 г. японских городов Хиросимы и Нагасаки. Павел Васильевич подтвердил эти данные своим научным авторитетом после скрупулёзного изучения представленных материалов.

Проработав четверть века в МКРЗ и других профильных международных организациях, П.В. Рамзаев способствовал приходу в их состав достойных ученых-соотечественников. Так, он рекомендовал в Комитет 1 МКРЗ

¹ Основные нормативно-методические документы и критерии реагирования на аварии ядерных реакторов разрабатывались в НИИРГ Ю.О. Константиновым с сотрудниками.

тогда молодого, а сейчас признанного в мире профессора А.В. Аклеева, а в Комитет 2 МКРЗ – своего бывшего сотрудника, а потом ведущего специалиста Украины профессора И.А. Лихтарева. Когда после 24 лет работы Павел Васильевич покинул МКРЗ в 1997 г., его сменил в составе Главной комиссии академик Л.А. Ильин.

Закон «О радиационной безопасности населения» – венец творческой деятельности П.В. Рамзаева

Работу над Федеральным законом «О радиационной безопасности населения» от 09.01.1996 г. № 3-ФЗ Павел Васильевич Рамзаев считал делом всей своей жизни. В проекте закона, который он писал лично, были учтены самые передовые научные достижения в области обеспечения радиационной безопасности, а для его продвижения и принятия Государственной Думой большую роль сыграл многолетний авторитет Павла Васильевича как ведущего специалиста страны в области радиационной гигиены. В законе он впервые дал определение понятия «радиационная безопасность населения» как состояния защищенности настоящего и будущего поколений людей от вредного для их здоровья воздействия ионизирующего излучения; впервые удалось внедрить понятие эффективной дозы облучения. В соответствии с международными рекомендациями были уменьшены в 2,5 раза значения основных дозовых пределов для персонала, а для населения – в 5 раз по сравнению с ранее действовавшими нормами.

Одним из достижений закона «О радиационной безопасности населения» является включение П.В. Рамзаевым в ст. 13 требования о занесении результатов оценки состояния радиационной безопасности в радиационно-гигиенические паспорта (РГП) организаций и территорий, а в ст. 18 – учета индивидуальных доз облучения, полученных гражданами от всех источников излучения, осуществляющегося в рамках единой государственной системы контроля и учета индивидуальных доз облучения (ЕСКИД). Вот уже 20 лет радиационно-гигиенические паспорта и сборники доз облучения населения Российской Федерации, издаваемые в рамках ЕСКИД, дают наиболее полную, объективную и доступную информацию о характеристике техногенных, медицинских и природных ИИИ и обусловленных ими дозах облучения населения на территории Российской Федерации и отдельных ее субъектов. Радиационно-гигиеническая паспортизация и ЕСКИД стали объективной информационной основой принятия управленческих решений по обеспечению радиационной безопасности населения Российской Федерации [36–38].

Заключение

Павел Васильевич Рамзаев был патриотом нашей Родины, человеком твердых убеждений, идейным организатором и воспитателем научного коллектива НИИРГ; все свои силы и профессиональные знания он отдавал России. Ведущие специалисты нашей страны отмечают выдающийся вклад Павла Васильевича Рамзаева в теоретическое развитие радиационной гигиены, его последовательность во внедрении научных разработок в документы санитарного законодательства и практическое использование их в сложных условиях Чернобыльской аварии [19, 39, 40].

Творческое наследие П.В. Рамзаева, определяемое списком научных трудов, включает более 150 публика-

ций. Однако в этот список не вошли базовые публикации МКРЗ (26, 30, 45, 60), заложившие на длительный период времени основы обеспечения радиационной безопасности во всем мире. Список научных трудов не включает Закон «О радиационной безопасности населения», разработке и внедрению которого Павел Васильевич посвятил значительную часть времени и усилий и который закрепил современные ключевые принципы и подходы к обеспечению радиационной безопасности, сформулированные в основополагающих международных документах, перенесенные затем в Нормы радиационной безопасности НРБ-96 и значительно развитые в НРБ-99.

Творческое наследие П.В. Рамзаева – это специалисты института радиационной гигиены, прошедшие школу становления в экспериментальных исследованиях, исследованиях Крайнего Севера, аварии на Южном Урале и Чернобыльской аварии, ставшие известными в России и в мире.

Творческое наследие П.В. Рамзаева – это, наконец, Институт радиационной гигиены – ведущее научное учреждение в области дозиметрии, нормирования и защиты, известное во всем мире и с гордостью носящее в настоящее время имя профессора П.В. Рамзаева.

Литература

1. Nevstrueva, M.A., Ramzaev, P.V., Moiseev, A.A., Ibatullin, M.S., Teplykh, L.A., 1967. The nature of ^{137}Cs and ^{90}Sr transport over the lichen–reindeer–man food chain. In: Aberg, B., Hungate, F.P. (Eds.), *Radioecological Concentration Processes. Proceedings of an International Symposium Held in Stockholm 25–29 April, 1966*. Pergamon Press, Oxford, Braunschweig. 1967, pp. 209–215.
2. Рамзаев, П.В. Результаты исследований глобальных выпадений на территории РСФСР / П.В. Рамзаев, М.А. Невструева, Л.А. Ильин, О.Н. Прокофьев, Д.К. Попов, Н.С. Швыдко, Е.Л. Шапиро, А.А. Перова, В.П. Шамов // *Атомная энергия*. – 1969. – Том 26, № 1. – С. 62–64.
3. Рамзаев, П.В. Метаболизм Cs^{137} у человека / П.В. Рамзаев, М.Н. Троицкая, М.С. Ибатуллин // *Медицинская радиология*. – 1969. – № 8. – С. 44–49.
4. Рамзаев, П.В. Радиоэкологические параметры цепочки «лишайник – северный олень – человек» / П.В. Рамзаев, М.Н. Троицкая, М.С. Ибатуллин, А.А. Моисеев, А.И. Нижников, И.М. Дмитриев // *Гигиена и санитария*. – 1970. – № 6. – С. 38–42.
5. Троицкая, М.Н. Источники и уровни облучения жителей Крайнего Севера / М.Н. Троицкая, А.П. Ермолаева, Л.А. Теплых, П.В. Рамзаев // *Гигиена и санитария*. – 1985. – № 12. – С. 30–32.
6. Ramzaev, P.V., Miretsky, G.I., Troitskaya, M.N., Dudarev, A.A., 1993. Radioecological peculiarities around the Novaya Zemlya (USSR) atomic test range. *Int. J. Radiat. Hyg.* 1, 1–13.
7. Омельчук, В.В. Профессор П.В. Рамзаев – ученый с мировым именем / В.В. Омельчук, Г.В. Архангельская, И.А. Звонова // *Радиационная гигиена*. – 2014. – Том 7, № 3. – С. 5–8.
8. Моисеев, А. Цезий-137 в биосфере / А.А. Моисеев, П.В. Рамзаев. – М.: Атомиздат, 1975. – 184 с.
9. Travnikova, I.G., Shutov, V.N., Bruk, G.Ya., Balonov, M.I., Skuterud, L., Strand, P., Pogorely, Yu.A., Burkova, T.F. Assessment of current exposure levels in different population groups of the Kola Peninsula. *J. Environ. Radioact.*, 2002, Vol. 60, pp. 235–248.
10. Golikov, V., Logacheva, I., Bruk, G., Shutov, V., Balonov, M., Strand, P., Borghuis, S., Howard, B., Wright, S. Modelling of long-term behavior of caesium and strontium radionuclides

- in the Arctic environment and human exposure. J. Environ. Radioact., 2004, Vol. 74, No. 1–3, pp. 159–169.
11. Miretsky, G.I., Cyganov, A.S., Bylinkin, S.V., Popov, A.O., Ramzaev, P.V., Chugunov, V.V. Hygienic assessment of underground peaceful nuclear explosions in Russian Arctic. In: Extended Abstracts from "The Third International Conference on Environmental Radioactivity in the Arctic, vol. 2. Tromsø, Norway, June 1–5, 1997". Tromsprodukt AS, Tromsø, 1997, pp. 152–155.
12. Ramzaev, V., Mishine, A., Kaduka, M., Basalaeva, L., Brown, J., Andersson, K.G. ^{137}Cs and ^{90}Sr in live and dead reindeer lichens (genus *Cladonia*) from the "Kraton-3" underground nuclear explosion site. J. Environ. Radioact., 2007, Vol. 93, pp. 84–99.
13. Ramzaev, V., Barkovsky, A., Gromov, A., Ivanov, S., Kaduka, M. Epiphytic fruticose lichens as biomonitors for retrospective evaluation of the $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ ratio in Fukushima fallout. J. Environ. Radioact., 2014, Vol. 138, pp. 177–185.
14. Ramzaev, V.P., Barkovsky, A.N., Gromov, A.V., Ivanov, S.A., Kaduka, M.V. Temporal variations of ^7Be , ^{40}K , ^{134}Cs and ^{137}Cs in epiphytic lichens (genus *Usnea*) at the Sakhalin and Kunashir islands after the Fukushima accident. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene, 2016, Vol. 9, No. 3, pp. 14–27.
15. Ramzaev, V.P., Barkovsky, A.N., Gromov, A.V., Kaduka, M.V. Fukushima fallout in Sakhalin Region, Russia, part 3: ^{137}Cs and ^{134}Cs in cow's milk. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene, 2018, Vol. 11, No. 3, pp. 40–55.
16. Ramzaev, P.V. Будущее Чернобыля / П.В. Рамзаев // Сб. науч. трудов «Радиационная гигиена». – Л.: ЛНИИРГ, 1991. – С. 3–11.
17. Рамзаев, П.В. Прогноз медицинских последствий аварии на ЧАЭС для населения РСФСР / П.В. Рамзаев, Е.В. Иванов, М.И. Балонов, А.Н. Либерман, Г.В. Архангельская // Сб. материалов Всесоюзного симпозиума «Ближайшие и отдаленные последствия радиационной аварии на Чернобыльской АЭС. Итоги работы научных и практических учреждений здравоохранения по ликвидации последствий аварии в 1986 году». – М.: Институт биофизики, 1987. – С. 348–354.
18. Рамзаев, П.В. Радиационно-гигиеническая политика реабилитации территорий, пострадавших от аварии на ЧАЭС / П.В. Рамзаев // Материалы международного семинара «Проблемы смягчения последствий Чернобыльской катастрофы». Брянск, 1993. – С. 22–26.
19. Ильин, Л.А. Памяти П.В. Рамзаева / Л.А. Ильин // Сб. науч. трудов «Радиационная гигиена», С-Петербург, 2003. – С. 7–8.
20. Рамзаев, П.В. Перспективы радиационной гигиены / П.В. Рамзаев, А.И. Бурназян, А.А. Моисеев // Гигиена и санитария. – 1969. – №. 10. – С. 10–12.
21. Рамзаев, П.В. Величина здоровья как единый критерий в системе нормирования ионизирующих и других вредных факторов / П.В. Рамзаев // Сб. трудов «Радиационная гигиена», 1978. – вып. 7. – С. 61–67.
22. Рамзаев, П.В. Элементы общей теории нормирования в радиационной гигиене / П.В. Рамзаев // Сб. науч. трудов «Радиационная гигиена». – Л.: ЛНИИРГ, 1981. – С. 3–11.
23. Рамзаев, П.В. Количественная оценка величины здоровья / П.В. Рамзаев, А.И. Нижников [и др.] // Сб. трудов «Радиационная гигиена». – Л.: ЛНИИРГ, 1980. – С. 14–18.
24. Рамзаев, П.В. О некоторых общих принципах гигиенического нормирования вредных факторов радиационной и химической природы / П.В. Рамзаев, Н.И. Машнева, Л.Ф. Родионова [и др.] // Сб. трудов «Радиационная гигиена». – Л.: ЛНИИРГ, 1981. – С. 11–19.
25. Рамзаев, П.В. Принцип взвешивания «польза-вред» и его применение в радиационной гигиене / П.В. Рамзаев, А.Н. Либерман // Сб. трудов «Радиационная гигиена». – Л.: ЛНИИРГ, 1982. – С. 22–29.
26. Рамзаев, П.В. Структура теории в радиационной гигиене / П.В. Рамзаев // Сб. трудов «Радиационная гигиена». – Л.: ЛНИИРГ, 1984. – С. 12–22.
27. Рамзаев, П.В. Риск реальный и мнимый / П.В. Рамзаев // Сб. трудов «Радиационная гигиена». – Л.: ЛНИИРГ, 1990. – С. 7–19.
28. Рамзаев, П.В. Основные итоги радиационно-гигиенических исследований миграции глобальных выпадений в приарктических районах СССР в 1959–1966 гг. / П.В. Рамзаев, А.А. Моисеев, М.Н. Троицкая. – М.: Атомиздат, 1967. – 14 с.
29. Рамзаев, П.В. Характеристика радиоактивного загрязнения цепочки мох-олень-человек на Крайнем Севере СССР в 1961–64 гг. / П.В. Рамзаев, М.А. Невструева, А.А. Моисеев, Д.К. Попов. – М.: Атомиздат, 1964.
30. Рамзаев, П.В. Цезий-137 в цепочке мох-олень-человек на Крайнем Севере / П.В. Рамзаев, А.И. Нижников, М.А. Невструева. – М.: Атомиздат, 1969. – 15 с.
31. Рамзаев, П.В. Статистические параметры обмена цезия-137 у людей / П.В. Рамзаев, М.Н. Троицкая, М.С. Ибатулин. – М.: Атомиздат, 1967.
32. Попов, Д.К. Концентрация цезия-137 в волосах человека / Д.К. Попов, М.С. Ибатулин, П.В. Рамзаев. – М.: Атомиздат, 1968. – 6 с.
33. Литвер, Б.Я. Свинец-210 и полоний-210 в приарктических районах восточного Севера. Б.Я. Литвер, Э.М. Крисюк, П.В. Рамзаев [и др.]. – М.: Атомиздат, 1969. – 14 с.
34. Рамзаев, П.В. К вопросу о возможности использования анализа волос для определения полония-210 в костной ткани и печени человека / П.В. Рамзаев, В.А. Антонова, Н.С. Швыдко. – М.: Атомиздат, 1969. – 8 с.
35. Литвер, Б.Я. Свинец-210, полоний-210, радий-226, торий-228 в биосфере Крайнего Севера СССР / Б.Я. Литвер, А.И. Нижников, П.В. Рамзаев, Л.А. Теплых, М.Н. Троицкая. – М.: Атомиздат, 1976. – 12 с.
36. Онищенко, Г.Г. Основные направления обеспечения радиационной безопасности населения Российской Федерации на современном этапе / Г.Г. Онищенко, И.К. Романович // Радиационная гигиена. – 2014. – Т. 7, № 4. – С. 5–22.
37. 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.
38. 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.
39. Онищенко, Г.Г. Предисловие / Г.Г. Онищенко // Сб. науч. трудов «Радиационная гигиена», 2003, С. 4–6.
40. Голиков, В.Ю. Творческое наследие П.В. Рамзаева / В.Ю. Голиков // Сб. науч. трудов «Радиационная гигиена», 2003. – С. 9–12.

Поступила: 08.05.2019 г.

Онищенко Геннадий Григорьевич – доктор медицинских наук, профессор, академик Российской академии наук; Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет), Москва, Россия

Звонова Ирина Александровна – доктор технических наук, главный 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: ir_zv@bk.ru

Балонов Михаил Исаакович – доктор биологических наук, главный научный сотрудник лаборатории радиационной гигиены медицинских организаций Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Рамзаев Валерий Павлович – кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник лаборатории внешнего облучения Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

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, Санкт-Петербург, Россия

Для цитирования: Онищенко Г.Г., Звонова И.А., Балонов М.И., Рамзаев В.П., Репин В.С. Научное наследие профессора Павла Васильевича Рамзаева // Радиационная гигиена. – 2019. – Т. 12, № 2 (спец-выпуск). – С. 9-19. DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-2s-9-19.

Scientific legacy of professor Pavel Vasilyevich Ramzaev

Gennadiy G. Onischenko^{1,3}, Irina A. Zvonova², Mikhail I. Balonov², Valery P. Ramzaev², Viktor S. Repin²

¹Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

²Saint-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

³I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow, Russia

The article describes the main areas of scientific and administrative activities of professor P.V. Ramzaev during his work in the Research Institute of Radiation Hygiene. In particular, the results of a study of global radioactive fallout in the Far North of the USSR, as well as a study of the radiation situation and an assessment of the doses to the public after the accident at the Chernobyl NPP, are presented in a systematic way. The leading role of P.V. Ramzaev in the development of hygienic regulation and in the development of the theory of health is shown. The activities of P.V. Ramzaev in the International Commission on Radiological Protection are discussed in detail. The role of P.V. Ramzaev in the development of the law «On Radiation Safety of the Population» is shown.

Key words: Pavel Ramzaev, radiation hygiene, global fallout, the Chernobyl NPP accident, hygienic norms, International Commission on Radiological Protection.

References

1. Nevstrueva, M.A., Ramzaev, P.V., Moiseev, A.A., Ibatullin, M.S., Teplykh, L.A., 1967. The nature of ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr transport over the lichen–reindeer–man food chain. In: Aberg, B., Hungate, F.P. (Eds.), Radioecological Concentration Processes. Proceedings of an International Symposium Held in Stockholm 25–29 April, 1966. Pergamon Press, Oxford, Braunschweig. 1967, pp. 209–215.
2. Ramzaev, P.V., Nevstruyeva, M.A., Ilyin, L.A., Prokofyev, O.N., Popov, D.K., Shvydko, N.S., Shapiro, E.L., Perova, A.A., Shamov, V.P. Studies of global fallout on Russian territory. Atomnaya Energiya = Atomic Energy, 1969, Vol. 26, No. 1, pp. 62–64 (in Russian).

Irina A. Zvonova

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

Address for correspondence: Mira str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: ir_zv@bk.ru

3. Ramzaev, P.V., Troitskaya, M.N., Ibatullin, M.S. Cs¹³⁷ metabolism in man. *Meditinskaya radiologiya = Med. Radiol.*, 1969, No. 8, pp. 44–49 (in Russian).
4. Ramzaev, P.V., Troitskaya, M.N., Ibatullin, M.S., Moiseev, A.A., Niznikov, A.I., Dmitriev, I.M. Radioecological parameters of the chain "lichen–northern-deer–man". *Gigiena i sanitariya = Hyg. Sanit.*, 1970, No. 6, pp. 38–42 (in Russian).
5. Troitskaya, M.N., Ermolaeva A.P., Teplykh, L.A., Ramzaev, P.V. Sources and levels of exposure to residents of the Far North. *Gigiena i sanitariya = Hyg. Sanit.*, 1985, No. 12, pp. 30–32 (in Russian).
6. Ramzaev, P.V., Miretsky, G.I., Troitskaya, M.N., Dudarev, A.A., Radioecological peculiarities around the Novaya Zemlya (USSR) atomic test range. *Int. J. Radiat. Hyg.*, 1993, No.1, pp. 1–13.
7. Omelchuk, V.V., Arkhangel'skaya, G.V., Zvonova, I.A. Professor Ramzaev P.V. – scientist of worldwide reputation. *Radiatsionnaya Gygiyena = Radiation Hygiene*, 2014, Vol. 7, No. 3, pp. 5–8 (in Russian).
8. Moiseev, A.A., Ramzaev, P.V. Cesium-137 in the biosphere. Moscow, Atomizdat, 1975, 184 p. (in Russian).
9. Travnikova, I.G., Shutov, V.N., Bruk, G.Ya., Balonov, M.I., Skuterud, L., Strand, P., Pogorely, Yu.A., Burkova, T.F. Assessment of current exposure levels in different population groups of the Kola Peninsula. *J. Environ. Radioact.*, 2002, Vol. 60, pp. 235–248.
10. Golikov, V., Logacheva, I., Bruk, G., Shutov, V., Balonov, M., Strand, P., Borghuis, S., Howard, B., Wright, S. Modelling of long-term behavior of caesium and strontium radionuclides in the Arctic environment and human exposure. *J. Environ. Radioact.*, 2004, Vol. 74, No. 1–3, pp. 159–169.
11. Miretsky, G.I., Cyganov, A.S., Bylinkin, S.V., Popov, A.O., Ramzaev, P.V., Chugunov, V.V. Hygienic assessment of underground peaceful nuclear explosions in Russian Arctic. In: *Extended Abstracts from "The Third International Conference on Environmental Radioactivity in the Arctic*, vol. 2. Troms, Norway, June 1–5, 1997". Tromsprodukt AS, Troms, 1997, pp. 152–155.
12. Ramzaev, V., Mishine, A., Kaduka, M., Basalaeva, L., Brown, J., Andersson, K.G. ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr in live and dead reindeer lichens (genera *Cladonia*) from the "Kraton-3" underground nuclear explosion site. *J. Environ. Radioact.*, 2007, Vol. 93, pp. 84–99.
13. Ramzaev, V., Barkovsky, A., Gromov, A., Ivanov, S., Kaduka, M. Epiphytic fruticose lichens as biomonitors for retrospective evaluation of the ¹³⁴Cs/¹³⁷Cs ratio in Fukushima fallout. *J. Environ. Radioact.*, 2014, Vol. 138, pp. 177–185.
14. Ramzaev, V.P., Barkovsky, A.N., Gromov, A.V., Ivanov, S.A., Kaduka, M.V. Temporal variations of ⁷Be, ⁴⁰K, ¹³⁴Cs and ¹³⁷Cs in epiphytic lichens (genus *Usnea*) at the Sakhalin and Kunashir islands after the Fukushima accident. *Radiatsionnaya Gygiyena = Radiation Hygiene*, 2016, Vol. 9, No. 3, pp. 14–27.
15. Ramzaev, V.P., Barkovsky, A.N., Gromov, A.V., Kaduka, M.V. Fukushima fallout in Sakhalin Region, Russia, part 3: ¹³⁷Cs and ¹³⁴Cs in cow's milk. *Radiatsionnaya Gygiyena = Radiation Hygiene*, 2018, Vol. 11, No. 3, pp. 40–55.
16. Ramzaev, P.V., The future of Chernobyl. In: *Collection of Scientific Papers: "Radiatsionnaya Gygiyena"*, Leningrad, LNIIRG, 1991, pp. 3–11 (in Russian).
17. Ramzaev, P.V., Ivanov, E.V., Balonov, M.I., Liberman, A.N., Arkhangel'skaya, G.V. Forecast of the medical consequences of the Chernobyl accident for the population of the RSFSR. *Materials of the All-Union Symposium "Nearest and remote consequences of the radiation accident at the Chernobyl NPP. Results of the work of scientific and practical health services on the consequences of the accident in 1986"*. Moscow, Institute of Biophysics, 1987, pp. 348–354 (in Russian).
18. Ramzaev, P.V. Radiation-hygienic policy of the territories affected by the Chernobyl accident rehabilitation. *Materials of the international seminar "Mitigation Problems of the Chernobyl Disaster Effects"*. Bryansk, 1993, pp. 22–26 (in Russian).
19. Ilyin, L.A. In memory of P.V. Ramzaev. In: *Collection of Scientific Papers: "Radiatsionnaya Gygiyena"*, St-Petersburg, 2003, pp. 7–8 (in Russian).
20. Ramzaev, P.V., Burnazyan, A.I., Moiseev, A.A. Prospects for radiation hygiene. *Gigiena i sanitariya = Hygiene and sanitation*, 1969, No.10, pp. 10–12 (in Russian).
21. Ramzaev, P.V. The value of health as a single criterion in the system of rationing of ionizing and other harmful factors. In: *Collection of Scientific Papers: "Radiatsionnaya Gygiyena"*, 1978, Vol. 7, Leningrad, LNIIRG, pp. 61–67 (in Russian).
22. Ramzaev, P.V. Elements of the general theory of standardization in radiation hygiene. In: *Collection of Scientific Papers: "Radiatsionnaya Gygiyena"*, Vol. 10, Leningrad, LNIIRG, 1981, pp. 3–11 (in Russian).
23. Ramzaev, P.V., Niznikov, A.I. et al. Quantitative assessment of the magnitude of health. In: *Collection of Scientific Papers: "Radiatsionnaya Gygiyena"*, 1980, Vol. 9, Leningrad, LNIIRG, pp. 14–18 (in Russian).
24. Ramzaev, P.V., Mashneva, N.I., Rodionova, L.F. et al. On some general principles of hygienic rationing of harmful factors of radiation and chemical nature. In: *Collection of Scientific Papers: "Radiatsionnaya Gygiyena"*, Leningrad, LNIIRG, vol. 10, p. 11–19 (in Russian).
25. Ramzaev, P.V., Liberman, A.N. The principle of weighing "good-harm" and its use in radiation hygiene. In: *Collection of Scientific Papers: "Radiatsionnaya Gygiyena"*, Leningrad, LNIIRG, 1982, pp. 22–29 (in Russian).
26. Ramzaev, P.V. The structure of the theory of radiation hygiene. In: *Collection of Scientific Papers: "Radiatsionnaya Gygiyena"*, Leningrad, LNIIRG, 1984, pp. 12–22 (in Russian).
27. Ramzaev, P.V. The real and imaginary risk. In: *Collection of Scientific Papers: "Radiatsionnaya Gygiyena"*, Leningrad, LNIIRG, 1990, pp. 7–19 (in Russian).
28. Ramzaev, P.V., Moiseev, A.A., Troitskaya, M.N. The main results of radiation-hygienic studies of the global fallout migration in the arctic regions of the USSR in 1959–1966. Moscow, Atomizdat, 1967, 14 p. (in Russian).
29. Ramzaev, P.V., Nevstruyeva, M.A., Moiseev A.A., Popov, D.K. Characterization of radioactive contamination of the moss-deer-man chain in the Far North of the USSR in 1961–64. Moscow, Atomizdat, 1964 (in Russian).
30. Ramzaev, P.V., Niznikov, A.I., Nevstruyeva, M.A. Cesium-137 in the moss-deer-man chain in the Far North. Moscow, Atomizdat, 1969 (in Russian).
31. Ramzaev, P.V., Troitskaya, M.N., Ibatulin, M.S. Statistical parameters of the cesium-137 metabolism in humans. Moscow, Atomizdat, 1967 (in Russian).
32. Popov, D.K., Ibatulin, M.S., Ramzaev, P.V. The concentration of cesium-137 in human hair. Moscow, Atomizdat, 1968, 6 p. (in Russian).
33. Litver, B.Ya., Krisyuk, EM, Ramzaev, P.V. [et al.]. Lead-210 and polonium-210 in the Arctic regions of the Eastern North. Moscow, Atomizdat, 1969, 14 p. (in Russian).
34. Ramzaev, P.V., Antonova, V.A., Shvydko, N.S. To the question of a possible using of the hair analysis for the determination of polonium-210 in human bone tissue and liver. Moscow, Atomizdat, 1969, 8 p. (in Russian).
35. Litver, B.Ya., Niznikov, A.I., Ramzaev, P.V., Teplykh, L.A., Troitskaya, M.N. Lead-210, polonium-210, radium-226, thorium-228 in the biosphere of the Far North in the USSR. Moscow, Atomizdat, 1976, 12 p. (in Russian).
36. Onischenko, G.G., Romanovich, I.K. Current trends of the provision for radiation safety of the population of the Russian Federation. *Radiatsionnaya Gygiyena = Radiation Hygiene*, 2014, Vol. 7, No. 4, pp. 5–22 (in Russian).

37. Onischenko, 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 Gygiena = Radiation Hygiene, 2017, Vol. 10, No. 3, pp. 7–17 (in Russian).
38. Onischenko, 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 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).
39. Onischenko, G.G. Preface. In: Collection of Scientific Papers: «Radiatsionnaya Gygiena», St-Petersburg, 2003, pp. 4–6 (in Russian).
40. Golikov V.Yu. The creative heritage of P.V. Ramzaev. In: Collection of Scientific Papers: «Radiatsionnaya Gygiena», St-Petersburg, 2003, pp. 9–12 (in Russian).

Received: May 08, 2019

Gennadiy G. Onischenko – Doctor of Medical Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences; I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow, Russia

For correspondence: Irina A. Zvonova – Doctor of Technical Sciences, Chief Research Scientist, Medical protection laboratory, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being (Mira str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: ir_zv@bk.ru)

Mikhail I. Balonov – Doctor of Biological Sciences, Professor, Senior Researcher of the Radiation Hygiene Laboratory for Healthcare Bodies 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

Valery P. Ramzaev – Candidate of Medical Sciences, Leading Researcher of the Laboratory of External Exposure, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

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, Saint-Petersburg, Russia

For citation: Onischenko G.G., Zvonova I.A., Balonov M.I., Ramzaev V.P., Repin V.S. Scientific legacy of professor Pavel Vasilyevich Ramzaev. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene, 2019, Vol. 12, No. 2 (special issue), pp. 9–19. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426x-2019-12-2s-9-19.

Защита населения при крупномасштабной радиационной аварии: ослабление негативных социальных последствий защитных мероприятий. Часть 1. Интерпретация дозовых характеристик аварийной ситуации

Ю.О. Константинов

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

Защитные мероприятия, осуществлявшиеся с целью снижения уровней облучения населения вследствие аварий на Чернобыльской АЭС и АЭС «Фукусима-1», вызвали негативные последствия социально-психологического и социально-экономического характера и медицинские нерадиологические последствия. Соответствующий ущерб, нанесенный населению затронутых территорий и всему обществу, значительно превысил гипотетическую пользу от предотвращения облучения. В настоящей работе рассматриваются некоторые возможные пути априорного обеспечения смягчения социального ущерба, сопутствующего осуществлению противорадиационных защитных мероприятий при крупномасштабной радиационной аварии. Для характеристики общего объема ущерба, вызываемого защитными мероприятиями, принят масштаб радиационной и социальной защиты в единицах численности населения официально вовлеченных территорий. Анализ решений по защите населения Российской Федерации от последствий Чернобыльской аварии показывает, что при конкретной радиационной обстановке масштабы защитных мероприятий различаются более чем на порядок величины в зависимости от критериев принятия решений и их административного воплощения. Другим фактором, от которого зависит масштабирование аварии, является степень консервативности в оценке радиационной обстановки. Анализ результатов индивидуального дозиметрического обследования жителей западных районов Брянской области показал устойчивые значения статистических характеристик распределения обусловленных Чернобыльской аварией индивидуальных доз внешнего и внутреннего облучения, согласно которым значение 95% квантиля распределения в 2–3 раза превышает среднее значение у рассматриваемого контингента населения. Таким образом, применение концепции «репрезентативного лица» приводит к завышению прогнозируемых доз облучения относительно тех, которым соответствуют стохастические эффекты облучения. Следствием такого завышения являются расширение масштабов защитных мероприятий, протрагирование аварийной ситуации, увеличение сопутствующего социального ущерба. В качестве одного из путей обеспечения априорного снижения социального ущерба, сопутствующего защитным мероприятиям, предлагается следующее положение. На стадии аварийной ситуации, когда уже достаточно информации, чтобы считать, что максимальное облучение человека не будет достигать порогов детерминированных эффектов, решения о защитных мероприятиях, нарушающих нормальную жизнедеятельность населения и социально-хозяйственное функционирование территории, оправдано принимать на основе доз на среднего человека из населения, а не на наиболее облучаемых людей.

Ключевые слова: радиационная авария, защитные мероприятия, аварийная ситуация, Чернобыльская авария, авария на АЭС «Фукусима-1», население, критическая группа.

Введение

Защитные мероприятия (ЗМ), осуществлявшиеся с целью снижения уровней облучения населения вследствие аварий на Чернобыльской АЭС и АЭС «Фукусима-1», вызвали негативные последствия социально-психологического и социально-экономического

характера и медицинские нерадиологические последствия. Соответствующий ущерб, нанесенный населению территорий, вовлеченных в ЗМ, и всему обществу, значительно превысил гипотетическую пользу от предотвращения облучения. В Российском национальном докладе по итогам изучения последствий Чернобыльской аварии сделан вывод, что «по сравнению с чернобыльской ради-

Константинов Юрий Олегович

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: yu-kon@rambler.ru

ацией, другие факторы, такие как хронический психологический стресс, нарушение привычного уклада жизни, ограничения в хозяйственной деятельности и связанные с аварией материальные потери, нанесли людям гораздо больший вред» [1].

Международное агентство по атомной энергии интенсивно разрабатывает вопросы обеспечения готовности к реагированию на радиологические аварийные ситуации, в том числе разработаны новые обоснования для дозовых критериев принятия решений (в формулировке прогнозируемых и полученных доз) не только для профилактических защитных мероприятий, но также для немедленного и долгосрочного медицинского обследования, психологической помощи и для прекращения проведения мер радиационной защиты [2]. В то же время ни в рекомендациях МКРЗ [3,4], ни в требованиях МАГАТЭ [5, 6] не содержится адекватных определений радиологических критериев оснований для принятия решений с учетом долговременных негативных социальных последствий защитных мероприятий.

В требованиях безопасности МАГАТЭ GSR Part 7 указано, что должно быть обеспечено «наличие механизма для смягчения нерадиологических последствий ядерной или радиологической аварийной ситуации и аварийного реагирования» [6]. В качестве такого механизма предполагается оказание медицинской и психологической помощи населению, т.е. смягчение ущерба, уже нанесенного защитными мерами, а не предотвращение самого ущерба.

В настоящем сообщении рассматриваются некоторые возможные пути обеспечения априорного смягчения социального ущерба, вызываемого осуществлением противорадиационных защитных мероприятий при крупномасштабной радиационной аварии: ограничение масштабирования ЗМ и негативного влияния на общественное восприятие радиационного риска. В первой части рассматривается ограничение консервативности при интерпретации дозовых характеристик аварийной ситуации.

Цель исследования – анализ масштабирования социальных последствий крупной радиационной аварии и оптимизация методологии оценки и прогноза уровней облучения населения с целью обеспечения априорного смягчения негативных социальных последствий противорадиационных мер защиты населения.

Социальные последствия защитных мероприятий

Основными эффективными мерами по снижению прогнозируемых доз облучения населения после Чернобыльской и Фукусимской аварий были эвакуация, отселение жителей загрязненных территорий и ограничение потребления загрязненных пищевых продуктов. Здесь приведем наиболее убедительные примеры негативных социальных последствий осуществления соответствующих защитных мероприятий.

Эвакуация

После возникновения 11 марта 2011 г. аварии на японской АЭС «Фукусима-1» первоначально были эвакуированы жители 20-километровой зоны. Впоследствии были переселены также жители территорий за пределами

20-километровой зоны, где доза за первый год могла превысить 20 мЗв – нижний предел рекомендованного МКРЗ в 2007 г. [3] диапазона референтных уровней (уровней вмешательства) в ситуации аварийного облучения 20–100 мЗв/год. Общее количество эвакуированных в связи с аварией населения превысило 146 тыс. чел. [7]

В то время как никаких радиологических последствий для здоровья населения среди населения не было зафиксировано, уже по состоянию на апрель 2011 г. засвидетельствована смерть 51 пациента пожилого возраста, эвакуированных из больниц и домов для престарелых, по причине плохо организованной эвакуации, физических и моральных страданий при транспортировке в эвакуационные центры и некомфортного проживания в эвакуационных центрах [8]. По результатам обследования 1215 больных или пожилых людей, проводившегося до 2013 г., было показано, что риск смерти у эвакуированных оказался в 3,37 раз выше, чем у неэвакуированных [9]. Среди причин смерти называют неоказание своевременной медицинской помощи в связи с закрытием лечебных учреждений в зоне эвакуации, высокий уровень дистресса (психологическая травма) ввиду резкого изменения условий жизни после переселения.

Отселение

Переселение жителей западных районов Брянской области потребовало очень больших затрат, неадекватных предотвращаемому радиологическому риску, и привело к долгосрочным негативным социальным последствиям. Сотрудники НИИРГ проводили исследование дозиметрических, экономических и социально-психологических аспектов переселения людей из 41 населенных пунктов Брянской области с плотностью загрязнения территории цезием-137 $S_{137} \geq 30$ Ки/км² (1,1 МБк/м²) в «чистые» районы области [10]. Анализ показал, что расходы на отселение в 1989–1993 гг. в Брянской области в 40 раз превысили пользу, выраженную денежным эквивалентом предотвращенного радиационного вреда, который, в свою очередь, определялся из расчета эквивалентности потери 1 чел.-года жизни (за счет предполагаемой частоты стохастических эффектов облучения) единице годового душевого национального дохода [11]. Не менее существенными, чем непосредственные материальные затраты, являются такие негативные последствия, как ухудшение демографической ситуации в сельской местности и отток квалифицированных кадров, приводившие к нарушению социально-экономического функционирования территории и неблагоприятным воздействиям на здоровье населения. Результаты медицинского и социально-психологического обследования перемещенных людей свидетельствовали, что средний уровень тревожности среди них выше, а показатели самочувствия ниже, чем у тех, кто продолжал жить в загрязненных населенных пунктах [11].

Ограничение потребления загрязненных пищевых продуктов

К негативным последствиям, сопровождающим мероприятия по ограничению производства и потребления радиоактивно загрязненных пищевых продуктов, следует отнести как прямой ущерб здоровью населения из-за нарушения сбалансированности питания,

так и долговременные социально-экономические последствия нарушения сельскохозяйственного функционирования территорий. После аварии на ЧАЭС на всех сельхозугодиях с плотностью загрязнения почвы цезием-137 выше 40 Ки/км² было прекращено землепользование, а всего из землепользования в Российской Федерации было выведено 68,5 тыс. га. [12]. Уменьшение площадей сельскохозяйственных угодий, отказ рынков сбыта от приема сельхозпродукции с чернобыльских территорий привели к уменьшению, а местами и к ликвидации сельскохозяйственного и перерабатывающего производства на загрязненных территориях. Что касается нарушения сбалансированности питания местного населения, можно привести следующий пример. В сообщении А.Ф. Цыба и соавт. [13] в качестве свидетельства эффекта дефицита необходимых элементов в структуре рациона, в том числе железа, приводится рост встречаемости железодефицитной анемии у детей и подростков Брянской области.

Масштабы аварийной ситуации в зависимости от решений по защите населения

В драматической истории принятия решений о защите населения Российской Федерации от последствий Чернобыльской аварии было два критических периода. Первый – летом 1986 г., когда по консервативному прогнозу радиационной обстановки намечалась эвакуация в августе – сентябре более 80 тысяч жителей населенных пунктов (НП) западных районов Брянской области. Тогда на основании реалистического подхода с использованием результатов проведенного в июле – августе 1986 г. обследования жителей на содержание радионуклидов цезия в организме и измерения радиоактивности молока местного производства [14] удалось убедить правительство РСФСР в прогнозируемом непревышении регламентированного на первый год после аварии временного допустимого уровня облучения 100 мЗв/год. Таким образом было предотвращено массовое переселение жителей Брянской области в 1986 г. В правительственный перечень подлежащих эвакуации в августе – сентябре НП были включены только 4 деревни Красногорского района, которые уже были эвакуированы 7 августа, всего 186 жителей [15].

Следующий критический период начался в 1988 г. с разумной попытки минимизировать негативные социальные последствия защитных мероприятий, нарушающих нормальную жизнедеятельность населения загрязненных территорий, а закончился в 1991 г. принятием решений, причинивших наибольший социальный ущерб. В 1988 г.

Национальная комиссия по радиационной защите предложила и Минздрав СССР утвердил концепцию безопасного проживания на основе предела дозы за жизнь ПДЖ=350 мЗв¹. Согласно этой концепции, предполагалось с 1990 г. ограничить объем защитных мероприятий путем снятия или смягчения ограничений в жизнедеятельности в населенных пунктах, где ПДЖ ≤ 350 мЗв, и отселения жителей, если не может быть обеспечено непревышение ПДЖ [16]. Расчеты дозы за жизнь (70 лет) при консервативных допущениях и снятии всех ограничений с 1990 г. показали, что превышение 350 мЗв в пределах России может быть в 104 населенных пунктах Брянской области с общим числом жителей 22 тыс. чел. [17]. На основании концепции ПДЖ и результатов расчетов в 1989–1990 гг. были приняты соответствующие правительственные постановления об отселении².

Пожизненная доза рассчитывалась как сумма накопленной дозы в 1986–1989 гг. и прогнозируемой дозы за последующие годы жизни. При этом в расчет принимались самые консервативные допущения [18]. Доза рассчитывалась применительно к человеку 1986 г. рождения. В расчет накопленной дозы до 1 января 1990 г. принимались значения 90% квантиля распределения результатов измерения активности основных продуктов питания и уровней гамма-излучения на территории, что составило по отношению к средним значениям коэффициенты 1,7 и 1,4 по внутреннему и внешнему облучению. В прогнозе дозы за 1990–2056 гг. принималось отсутствие каких-либо мер защиты и консервативное значение скорости убывания годовой дозы. Совокупность консервативных допущений давала завышение пожизненной дозы более чем вдвое [19]. При более реалистическом приближении и если учитывать только ту дозу, которая еще может быть предотвращена, отселению подлежало бы всего 4,1 тыс. жителей.

Под давлением социально-политических факторов концепция ПДЖ была официально отвергнута, и дальнейшие решения принимались в направлении ужесточения требований к радиационной защите. В этих условиях последующие регулирующие документы являлись компромиссом между научно обоснованными принципами радиационной защиты и неадекватным общественным восприятием радиационного риска. В качестве такого компромисса с учетом социально-психологической обстановки в загрязненных районах была принята «Концепция проживания населения в районах, пострадавших от аварии на Чернобыльской АЭС», одобренная постановлением правительства СССР от 8 апреля 1991 г.³. Согласно концепции, облучение населения от

¹ Предел индивидуальной дозы за жизнь, установленный для населения контролируемых районов РСФСР, БССР и УССР, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате аварии на Чернобыльской АЭС. Утверждено Главным Государственным санитарным врачом СССР 22 ноября 1988 г., № 129-6/715-6 [Individual lifetime dose limit established for the population of controllable territories in the RSFSR, BSSR and USSR subjected to radioactive contamination due to the Chernobyl NPP accident. Authorized by the USSR Chief State Health Officer on November, 22, 1988, № 129-6/715-6].

² Распоряжение Совета министров РСФСР от 05.10.1989 г. № 878-р (переселение по плану в период 1989–1993 г.) [The Order of the Council of Ministers of RSFSR from 05.10.1989 г. № 878-р (resettlement under the plan during 1989–1993)]. Распоряжение Совета министров РСФСР от 16.03.1990 г. № 293-р (переселение по плану в период 1990–1993 г.) [The Order of the Council of Ministers of RSFSR from 05.10.1959 г. № 878-з (resettlement under the plan during 1990–1993)].

³ Постановление Кабинета министров СССР от 8 апреля 1991 г. № 164 о концепции проживания населения в районах, пострадавших от аварии на Чернобыльской АЭС. [Resolution of the USSR Council of Ministers from April 8, 1991 № 164 on the concept of permanent living of people in the districts suffered from the Chernobyl NPP accident]

радиоактивных выпадений в результате аварии на ЧАЭС, дающее в 1991 г. и в последующий период среднегодовую эффективную дозу, не превышающую 1 мЗв, является допустимым и не требует каких-либо вмешательств (защитных мероприятий). При уровнях выше 1 мЗв необходимо проводить комплекс защитных мер по снижению дозовых нагрузок при одновременном ослаблении ограничений, нарушающих привычный образ жизни, с условием непревышения 5 мЗв/год.

Концепция формально положена в основу принятого в мае 1991 г. закона «О социальной защите граждан, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС»⁴. Однако непосредственно защитные мероприятия как по снижению уровней облучения (включая отселение), так и социального характера (включая льготы и компенсации) привязаны в законе к зонированию территории по плотности загрязнения почвы цезием-137. К зонам радиоактивного загрязнения отнесли все территории с плотностью загрязнения $S_{137} \geq 1$ Ки/км² (37 кБк/м²). Это привело к многократному расширению территории, вовлекаемой в сферу выполнения защитных мероприятий. Численность вовлекаемого населения в целом по России сразу возросла до 1,5 млн чел., а к 1993 г., после разведки новых территорий с $S_{137} > 1$ Ки/км² – 2,7 млн чел., проживавших в 17 областях Российской Федерации. Согласно принятому закону, тер-

ритории с $S_{137} > 15$ Ки/км² (0,555 МБк/м²) отнесли к зоне отселения, в которой оказалось 202 НП с общим числом жителей 91 тыс. чел. [1], причем обязательное отселение предписывалось для НП с $S_{137} > 40$ Ки/км² или при среднегодовой дозе свыше 5 мЗв. Программа отселения не была полностью выполнена. Тем не менее, переселенными оказались более 55 тыс. чел.

В таблице приводится сводка различных критериев принятия решений в порядке роста численности населения, затронутого защитными мероприятиями в Брянской области. Не вдаваясь в дифференциацию ущерба в зависимости от характера основных мер радиационной защиты (отселение, ограничение производства и/или потребления пищевых продуктов), относим к «затронутому населению» жителей всех населенных пунктов Брянской области, официально отнесенных к зонам радиоактивного загрязнения, т.к. в понятие ущерба включаем психологический стресс от зачисления в ранг пострадавших от радиации.

Консерватизм и реализм в оценке уровней облучения на разных стадиях аварийной ситуации

По формальному существу принципа оптимизации при оценке радиационной обстановки для принятия решений должны производиться реалистические, а не консервативные прогнозы уровней облучения населения.

Таблица

Масштабы защитных мероприятий в Брянской области в зависимости от критериев принятия решений в 1988–1991 гг.

[Table

Scope of countermeasures in Bryansk region depending on decision making criteria in 1988–1991]

Критерии [Criteria]		Год принятия решений [Year of decision]	Затронутое население (тыс. чел.) [Involved population (thousands)]
Концептуально [Conceptual]	Численно [Numerical]		
Предотвращаемая доза за 70 лет жизни (1990–2060), реалистическое приближение [Avertable dose in 70 y lifespan (1991–2060), realistic approach]	350 мЗв [350 mSv]	–	4, 1
Обязательное отселение [Compulsory relocation]	1480 кБк/м ² [1480 kBq/m ²]	1990	6, 4
Доза за жизнь (1986–2056), консервативный подход [Life-time dose (1986–2056), conservative approach]	350 мЗв [350 mSv]	1988	22
Годовая доза в 1991 г. [Annual dose in 1991]	5 мЗв [5 mSv]	1991	25
Плотность загрязнения ¹³⁷ Cs [Contamination density ¹³⁷ Cs]	555 кБк/м ² [555 kBq/m ²]	1991	91
Годовая доза в 1991 г. [Annual dose in 1991]	1 мЗв [1 mSv]	1991	169
Плотность загрязнения ¹³⁷ Cs [Contamination density ¹³⁷ Cs]	185 кБк/м ² [185 kBq/m ²]	1991	242
Плотность загрязнения ¹³⁷ Cs [Contamination density ¹³⁷ Cs]	37 кБк/м ² [37 kBq/m ²]	1991	482

⁴ Закон Российской Федерации «О социальной защите граждан, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС» от 16.05.1991 г. № 1244-1. [Russian Federation Law «On social protection of citizens affected by radiation owing to catastrophe at the Chernobyl NPP». Adopted on May 15, 1991, № 1244-1.]

В то же время оценка реалистичности прогноза весьма проблематична, особенно в начальной фазе аварии, когда еще нет или очень мало дозиметрической информации о складывающейся обстановке. Тем более это относится к предупредительным решениям на основе технологических данных об аварийном состоянии ядерной установки. По мере поступления дозиметрической информации неопределенность прогноза сужается, но в некоторый начальный период она может быть настолько велика, что вполне оправдана высокая степень консерватизма в оценке прогнозируемой дозы во избежание серьезной недооценки опасности переоблучения населения. На рисунке 1 верхние и нижняя кривые ограничивают диапазон неопределенности в прогнозе реальной дозы в различное время после начала аварии. Если в начальный период времени верхняя граница этого диапазона оказывается выше уровня детерминированных эффектов, то решения о защитных мероприятиях в этот период следует принимать по принципу ограничения индивидуального риска в расчете на максимально облучаемого человека в рассматриваемой популяции. Только когда консервативное значение прогнозируемой дозы может быть скорректировано поступающей дозиметрической информацией до уровня ниже соответствующего детерминированным эффектам облучения, решения можно принимать на основе более реалистических условий, по принципу оптимизации.

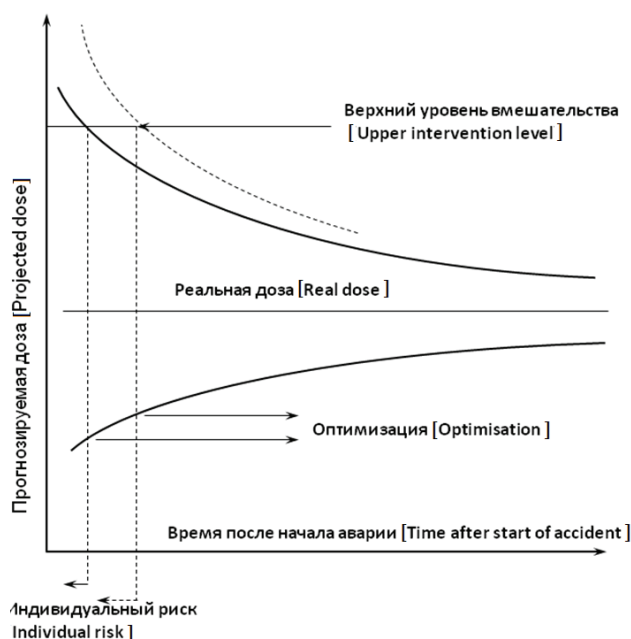


Рис. 1. Диапазон неопределенности в оценке радиационной обстановки
[Fig. 1. Range of uncertainty in the assessment of radiation situation]

На рисунке 1 сплошные кривые относятся к дозе облучения в среднем для человека из населения, а штриховая – с учетом предполагаемого распределения индивидуальных доз. При оправданно консервативном подходе в начальный период аварии целесообразно ориентироваться на максимально облучаемого в данных условиях

человека. В последующий период, когда имеется достаточно информации, чтобы считать, что максимальное облучение человека не будет приближаться к уровню детерминированных эффектов, существенно учитывать распределение индивидуальных уровней радиационного воздействия.

Дозиметрические обследования последствий Чернобыльской аварии показали, что индивидуальные уровни облучения жителей территории, подвергшейся радиоактивному загрязнению, широко варьируют в зависимости от ряда факторов, среди которых по внешнему облучению наибольшее значение имеют профессия или род занятий, а по внутреннему – рацион питания и радиоактивное загрязнение потребляемых пищевых продуктов. Особенно широко варьируют уровни внутреннего облучения. На рисунке 2 показано стандартизованное распределение уровней внутреннего облучения 66 135 жителей 77 населенных пунктов западных районов Брянской области в первый год после аварии на ЧАЭС, в каждом из которых в августе – сентябре 1986 г. обследовано на содержание радиоактивного цезия не менее 100 человек, в том числе не менее 50 взрослых [20]. За единицу взято среднее значение уровня внутреннего облучения взрослых жителей населенного пункта. Медиана, 90% и 95% квантили распределения и среднее облучение лиц с превышением 90% квантиля распределения составили 0,78, 1,82, 3,3 и 3,0 соответственно относительно среднего арифметического значения для взрослых жителей.

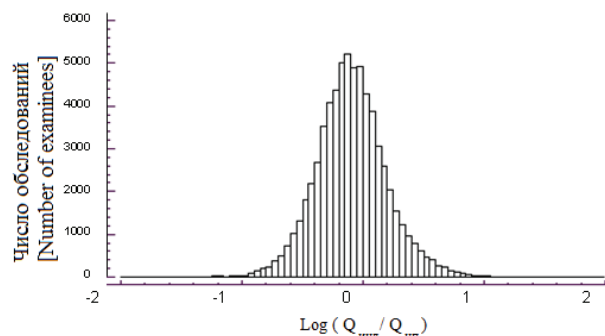


Рис. 2. Распределение индивидуальных значений уровней внутреннего облучения радионуклидами цезия ($Q_{инд}$) относительно среднего значения у взрослых жителей населенного пункта ($Q_{нп}$)

[Fig. 2. Distribution of individual values of internal exposure from caesium radionuclides ($Q_{инд}$) relative to the mean value for adult inhabitants of a settlement ($Q_{нп}$)]

Исследование распределений в отдельных НП показало, что их характер практически не зависит от статуса НП как в административном отношении (город, сельский НП или поселок городского типа), так и в плане его отношения к той или иной зоне радиоактивного загрязнения, и соответственно, от интенсивности проведения защитных мероприятий, т.е. почти не зависит от времени введения, характера и строгости выполнения мер по исключению или ограничению потребления загрязненных пищевых продуктов [20]. Более того, характер распределения индивидуальных уровней облучения и стандартизованные

параметры распределения оказались устойчивыми по прошествии многих лет после аварии на ЧАЭС. Согласно публикации [21], как по данным СИЧ-измерений, проведенных в 1992–2003 гг., так и по результатам стохастического моделирования (с использованием параметров распределения численных значений коэффициентов перехода цезия-137 из почвы в основные дозообразующие продукты питания и объемов их потребления) стандартизованные значения параметров распределения индивидуальных доз внутреннего облучения оказались близкими к таковым для распределения, приведенного на рисунке 2, то есть в первый год после аварии. По внешнему облучению дисперсия индивидуальных доз меньше, и отношение средней дозы облучения лиц, у которых индивидуальные дозы превышают 90% квантиль распределения, к средней дозе у всех жителей НП составило 1,8 (по данным индивидуальной термолюминесцентной дозиметрии (ТЛД) и стохастического моделирования для четырех НП [22]).

Рассмотрим теперь восстановительную стадию после аварии, когда пришлось выполнять защитные мероприятия, но нужно на основании реалистично оцененной радиационной обстановки определить радиологические основания к их прекращению. От того, оцениваем ли мы дозу на среднего индивидуума, т.е. в среднем для жителей населенного пункта, либо применяем более консервативный подход, зависит время прекращения защитных мероприятий. Более консервативным подходом может быть расчет дозы на 95% квантиль (как для «репрезентативного лица» в публикации 101 МКРЗ [23]) или средняя доза на определенным образом выбранную конкретную или виртуальную «критическую группу» населения (как в [22]), либо, наконец, доза на наиболее облучаемого индивидуума – пусть это будет абстрактный человек, для которого предполагаются условия наибольшего внешнего и внутреннего облучения.

Рассматриваемый вопрос иллюстрируется схематически на рисунке 3, где кривые означают снижение со временем уровней облучения. Исходя из представления о стохастических эффектах, следует руководствоваться уровнями облучения в среднем для жителей населенного пункта. Тогда допускается облучение части жителей в индивидуальной годовой дозе, превышающей установленный уровень прекращения защитных мероприятий. Согласно результатам дозиметрических обследований наиболее загрязненных районов Брянской области с применением ТЛД и СИЧ, для жителей, облучение которых превышает 90% квантиль распределения индивидуальных уровней внешнего и внутреннего облучения (один из вариантов определения «критической группы» [22]), годовая доза в 2–3 раза превышает среднее арифметическое значение таковой для всех жителей населенного пункта. Для отдельного человека («максимально облучаемый человек» на рисунке 3) это превышение может быть еще большим. Если принять, что при прекращении защитных мероприятий в соответствии с годовой дозой в среднем для жителей НП дальнейшее снижение аварийного облучения произойдет, например, как в нынешней постчернобыльской ситуации с периодом полуувывания, скажем, 30 лет, среднее облучение указанной критической группы еще 43 года будет превышать «уровень пре-

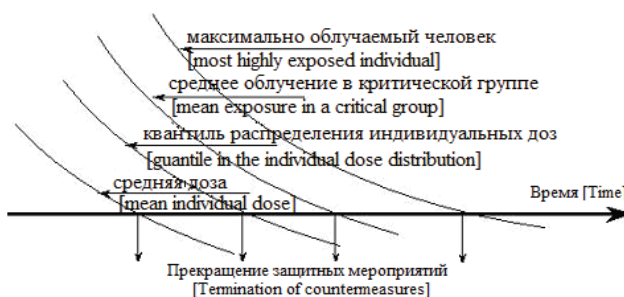


Рис. 3. Зависимость длительности защитных мероприятий от степени консервативности в оценке уровней облучения населения

[Fig. 3. Duration of protective actions vs. degree of conservativeness in the assessment of population exposure levels]

кращения защитных мероприятий». Согласно действующей (принятой в 1995 г.) концепции [24], этот уровень принят равным 1 мЗв/год, т.е. равен основному пределу эффективной дозы техногенного облучения населения в нормальных условиях. При этом в НРБ-99/2009 указывается, что пределы доз относятся к критической группе населения. Тогда даже пренебрегая квотированием предела дозы для облучения отдельными техногенными источниками ([25], п.5.2.2), следовало бы считать радиологически «нормальными» условиями, то есть прекращением аварийного облучения, 1 мЗв/год на критическую группу населения. Последнее означает продолжение пребывания населенного пункта в статусе находящегося в ситуации аварийного облучения еще на более чем 40 лет с протрагированием защитных мероприятий и соответствующих негативных социально-психологических и социально-экономических последствий. То есть мы сталкиваемся с дилеммой либо формального удовлетворения действующим регулирующим документам, либо радиологически и социально оправданного завершения аварийной ситуации, когда вред дальнейших защитных мероприятий очевидно превышает пользу от снижения риска постулируемых в общей концепции радиационной защиты отдаленных стохастических последствий облучения.

Обсуждение

После Чернобыльской аварии решения о защите населения принимались по разному виду и уровню критериям (годовая доза, доза за жизнь, загрязнение почвы цезием-137), которым соответствовали различная эффективность снижения облучения населения и различные виды и степень негативных нерадиологических последствий. Для характеристики общего объема ущерба, вызываемого защитными мероприятиями, примем масштаб радиационной и социальной защиты в единицах численности населения официально вовлеченных территорий. В таблице видно, что при конкретной радиационной ситуации в зависимости от принимаемого критерия масштабы ЗМ могут кардинально различаться. Так, если рассматривать отселение, то при различных осуществленных или

предполагавшихся в 1988–1991 гг. решениях отселению подлежали от 22 тыс. чел. при реализации «35-бэрной» концепции (предел дозы за жизнь 350 мЗв) до 91 тыс. чел. в зоне отселения, установленной законом «О социальной защите граждан, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС» ($S_{137} > 15 \text{ Ки/км}^2$). В установленной законом «зоне проживания с правом на отселение» (S_{137} от 5 до 15 Ки/км^2) – еще 152 тыс.чел.⁵ [1]. Таким образом, уже в этом рассмотрении масштабы ЗМ в Брянской области различаются на порядок величины. Если в расчете дозы принять менее консервативные допущения и не учитывать облучение, уже полученное до 1990 г., то отселению подлежали всего 4,1 тыс. чел. В разработанных впоследствии международных рекомендациях [26] и отечественных нормах радиационной безопасности [25] критерием отселения была принята предотвращаемая доза 1000 мЗв. Тогда отселение вообще не было оправдано, так как ни в одном населенном пункте России не достигался такой уровень прогнозируемого облучения. Размах различий в масштабах ЗМ еще больше при рассмотрении общего социального ущерба от всех защитных мероприятий, включая психологические последствия, обусловленные официальным отношением к зонам радиоактивного загрязнения всех населенных пунктов с плотностью загрязнения от 1 Ки/км^2 . Численность населения вовлеченных территорий в 1991 г. сразу возросла до 1,5 млн чел., а к 1993 г. – до 2,7 млн чел. в 17 областях Российской Федерации. На основании законодательного закрепления жители соответствующих населенных пунктов считают себя пострадавшими от облучения, так как прописанные в законе льготы и преференции население воспринимает как убедительное подтверждение худших опасений [27].

Таким образом, анализ истории ЗМ по преодолению последствий Чернобыльской аварии показывает, что социальные последствия крупномасштабной (по размерам вовлеченной территории и численности жителей этой территории) радиационной аварии определяются в большей степени не уровнем предполагаемых радиологических последствий, а осуществлением административных решений по противорадиационной защите населения. А так как решения мотивируются представлениями о предполагаемых уровнях облучения населения, существенное значение приобретает рациональная интерпретация дозиметрических данных, характеризующих аварийную ситуацию. Иначе говоря, при общих концептуальных положениях решения определяются не только принятыми дозовыми критериями, но и интерпретацией этих критериев и реальных дозовых характеристик в виде прогнозируемых, предотвращаемых и остаточных доз.

Согласно МКРЗ (Публикация 103) [3], «планирование защитных мероприятий должно основываться на концепции «репрезентативного лица», как это описано в Публикации 101». Комиссия определяет репрезентативное лицо как индивидуума, получившего дозу излучения, которая представительна для наиболее облучаемых индивидуумов в популяции. Этот термин эквивалентен и заменяет собой понятие «критической группы», принимав-

шееся в прежних рекомендациях МКРЗ. В публикации 101 Комиссия полагает, что репрезентативное лицо, представляющее наиболее облучаемые лица в популяции, следует выбирать по дозе предполагаемого облучения так, чтобы вероятность еще большего облучения не превышала 5%. [23]. Иначе говоря, представительным считается 95% квантиль распределения индивидуальных доз. Ссылаясь на результаты исследования потребления основных продовольственных продуктов в Великобритании [28], Комиссия считает, что при отсутствии конкретных местных данных можно принимать, что по внутреннему облучению вследствие пищевого поступления радионуклидов 95% квантиль распределения доз превышает среднее значение примерно в три раза. Интересно, что это совпадает с приведенными выше нашими данными обследования населения на рисунке 2, где 95% квантилю соответствует превышение над средним в 3,3 раза, а ровно трехкратное различие соответствует среднему значению доз, превышающих 90% квантиль. Это относится к дозам внутреннего излучения. Комиссия не приводит аналогичной аппроксимации по внешнему облучению. Как указано выше, по данным исследований в Брянской области после Чернобыльской аварии, дисперсия индивидуальных значений доз внешнего излучения меньше, чем по внутреннему, а 95% квантилю распределения соответствует превышение в 1,75 над средним значением [29].

Таким образом, при ориентировании на 95% квантиль распределения индивидуальных доз получаем завышение прогнозируемых доз облучения в 2–3 раза по сравнению с расчетом на среднего человека. Соответственно, ужесточаются вторичные уровни критериев принятия решений (оперативные уровни, уровни действия) в виде измеримых радиометрических показателей, например допустимые уровни содержания радионуклидов в сельскохозяйственной продукции. Так, при анализе эффективности защитных мер в агропромышленном комплексе после Чернобыльской аварии отмечено, что «уменьшение уровня допустимого содержания радионуклидов в продукции АПК в два раза приводило к увеличению масштабов противоаварийных работ в АПК в 4–5 раз, а по отдельным видам продукции до 10 раз» [30]. Таким образом, применение концепции «репрезентативного лица» приводит к увеличению масштабов и длительности аварийной ситуации, численности населения вовлекаемых в ЗМ территорий и общего размера сопутствующего социального ущерба. Оправдано ли такое завышение оценки аварийной ситуации при принятии решений в условиях крупномасштабной радиационной аварии?

Основная концепция радиационной защиты – предотвращение детерминированных эффектов облучения и снижение риска стохастических последствий. В начальный период аварийной ситуации, пока существует вероятность достижения уровней облучения, соответствующих детерминированным эффектам, оправдан самый консервативный подход в расчете не только на репрезентативное лицо, но даже на гипотетически самого облучаемого человека (см. рис. 3). После получения уверенной инфор-

⁵ В зоне проживания с правом на отселение еще 173 тыс. чел. в НП за пределами Брянской области [1].

мации о непревышении таких уровней главной задачей становится снижение радиационного риска по принципу оптимизации таким образом, чтобы принести обществу больше пользы, чем вреда, т.е. уменьшение ущерба в результате снижения дозы должно быть достаточным, чтобы оправдать вред и стоимость ЗМ, включая медицинские, социально-экономические и социально-психологические последствия. По существу принципа оптимизации для принятия решений о ЗМ, направленных на снижение риска стохастических эффектов в ситуации аварийного облучения, должны приниматься в расчет сопоставимые по степени целесообразности и консервативности оценки пользы и вреда защитных мероприятий. В этом смысле концепция критической группы или репрезентативного лица входит в противоречие с принципами обоснования и оптимизации радиационной защиты. В рекомендациях МКРЗ и требованиях МАГАТЭ негативные социальные последствия ЗМ декларируются как предполагаемые быть учитываемыми, но, в отличие от радиационного фактора, никак не квантифицируются для выделения критической группы (или репрезентативного индивидуума).

Защитные мероприятия после Чернобыльской и Фукусимской аварий, направленные на снижение гипотетических стохастических радиологических последствий (необнаруженных и статистически вряд ли обнаружимых⁶, кроме раков щитовидной железы вследствие Чернобыля), привели к вполне реальным медицинским последствиям (гибель людей, связанная с эвакуацией после аварии на АЭС «Фукусима-1») и к известным социально-экономическим, социально-психологическим и опосредованно медицинским последствиям. Таким образом, принятые решения по защите населения в условиях аварийного облучения в низких дозах привели к тому, что гипотетические радиологические последствия предотвращены высокой ценой реальных нерадиологических последствий.

Наряду с требующей отдельного рассмотрения консервативностью в установлении дозовых критериев для принятия решений, на практике ужесточение оценки радиационной обстановки ориентированием на репрезентативное лицо, соответствующее 95% квантилю распределения индивидуальных доз, приводит к масштабированию аварийной ситуации, росту размеров территорий и численности населения, вовлекаемого в защитные мероприятия, протрагированию выполнения ЗМ и сопутствующих негативных нерадиологических последствий, к возрастанию соответствующего социального ущерба.

Исходя из изложенных соображений, в качестве одного из путей обеспечения априорного снижения социального ущерба, сопутствующего защитным мероприятиям при крупномасштабной радиационной аварии, целесообразно при планировании защиты населения ограничить масштабирование ЗМ следующим положением. На стадии аварийной ситуации, когда уже достаточно информации, чтобы считать, что максимальное облучение человека не будет достигать порогов детерминированных эффектов, решения о защитных мероприятиях, нарушающих нормальную жизнедеятельность населения и со-

циально-хозяйственное функционирование территории, оправдано принимать на основе доз на среднего человека из населения, а не на наиболее облучаемых людей.

Выводы

1. Анализ истории защитных мероприятий по преодолению последствий Чернобыльской аварии показывает, что социальные последствия крупномасштабной (по размерам вовлеченной территории и численности жителей этой территории) радиационной аварии определяются не уровнем предполагаемых радиологических последствий, а осуществлением административных решений по противорадиационной защите населения.

2. Консервативные положения рекомендаций МКРЗ и требований МАГАТЭ в сочетании с неадекватным общественным восприятием радиационного риска создают предпосылки для своего рода презумпции радиологической виновности, заключающейся в том, что на практике решения по защите населения при крупномасштабной радиационной аварии принимаются на основании радиологических критериев, не отвечающих задаче предотвращения нерадиологических последствий и соответствующих социальных ущербов, вызываемых выполнением защитных мероприятий, нарушающих нормальную жизнедеятельность населения и функционирование вовлекаемой территории.

3. Планирование защитных мероприятий на основе концепции критической группы населения или «репрезентативного лица (индивидуума)» приводит к завышению прогнозируемых доз облучения в 2–3 раза по сравнению с расчетом на среднего человека. В условиях крупной радиационной аварии это приводит к расширению масштаба вовлекаемых в защитные мероприятия территорий и населения, протрагированию длительности аварийной ситуации и к увеличению сопутствующего социального ущерба, значительно превосходящему прирост гипотетической пользы от снижения облучения.

4. На стадии аварийной ситуации, когда уже достаточно информации, чтобы считать, что максимальное облучение человека не будет достигать порогов детерминированных эффектов, решения о защитных мероприятиях, нарушающих нормальную жизнедеятельность населения и социально-хозяйственное функционирование территории, оправдано принимать на основе прогнозируемых доз на среднего человека из населения, а не на наиболее облучаемых людей.

Литература

1. 20 лет Чернобыльской катастрофы: Итоги и перспективы преодоления ее последствий в России: 1986—2006: Российский национальный доклад; под ред. С.К. Шойгу и Л.А. Большова. — М., 2006. — 92 с.
2. Критерии для использования при обеспечении готовности реагирования в случае ядерной аварии или радиологической аварийной ситуации. Общее руководство по безопасности, № GSG-2. МАГАТЭ. — Вена, 2012. — 137 с.
3. Публикация 103 МКРЗ. Рекомендации Международной комиссии по радиационной защите / пер. с англ.; под общ. ред. М.Ф. Киселева, Н.К. Шандалы. — М.: Изд. ООО ПКФ «Алана». — 312 с.

⁶ За исключением «ликвидаторов».

4. ICRP, 2009. Application of the Commission's recommendations for the protection of people in emergency exposure situations. ICRP Publication 109. Ann. ICRP 39 (1).
5. Радиационная защита и безопасность источников излучения. Международные основные нормы безопасности GSR Part 3. МАГАТЭ. – Вена, 2015. – 515 с.
6. Готовность и реагирование в случае ядерной или радиологической аварийной ситуации. Общие требования безопасности. № GSR Part 7. МАГАТЭ, Вена, 2018 – 160 с.
7. Авария на АЭС «Фукусима Дайити». Доклад Генерального директора. МАГАТЭ. – Вена, 2015. – 264 с.
8. Callen, J., Homma, Toshimitsu. Lessons learned in protection of the public for the accident at the Fukushima Daiichi nuclear power plant. Health Physics, 2017, v.112, pp. 550-559.
9. Leppard, C., Tanimoto, T, Tsubokura, M. Public health after a nuclear disaster: beyond radiation risks. Bulletin of the World Health Organization, 2016, vol. 94, pp. 859-860.
10. Кислов, М.В. Некоторые аспекты переселения жителей из пострадавших в результате аварии на ЧАЭС районов Брянской области / М.В. Кислов, Н.Е. Карлин, А.Н. Либерман [и др.] // Проблемы смягчения последствий Чернобыльской катастрофы. Матер. междунар. семинара. – Брянск, 1993. – ч. 1. – С. 48-50.
11. Ramzaev P.V., Ivanov E.V., Liberman A.N., Komarov E.I. Comparative assessment of public health detriment from the Chernobyl accident and countermeasures. One decade after Chernobyl: Summing up the consequences of the accident. Int. Conf., Vienna, 8-12 April 1996. Poster presentations – Volume 2. IAEA-TECDOC-964, Vienna, IAEA, 1997, pp. 621-623.
12. 25 лет Чернобыльской аварии. Итоги и перспективы преодоления ее последствий 1986-2011. Российский национальный доклад / Под общ. ред. С.К. Шойгу, Л.А. Большова. – М., 2011. – 160 с.
13. Цыб, А.Ф. Итоговые результаты оценки и возможные пути уменьшения медицинских последствий аварии на ЧАЭС / А.Ф. Цыб, В.В. Шахтарин, В.Ф. Степаненко, А.Д. Прошин, В.Н. Дорошенко // Здоровье детей и радиация: актуальные проблемы и решения. – М., 2005. – Выпуск 2. – С. 23-30.
14. Константинов, Ю.О. Оценка доз внутреннего облучения населения радионуклидами цезия для принятия решений о мерах радиационной защиты // Ю.О. Константинов, В.И. Пархоменко, В.С. Репин, И.Г. Травникова // Ближайшие и отдаленные последствия радиационной аварии на Чернобыльской АЭС. – М.: МЗ СССР-ИБФ, 1987. – С. 219-225.
15. Константинов, Ю.О. / Чернобыльская авария: обоснование и реализация решений по защите населения / Ю.О. Константинов // Радиационная гигиена. – 2011. – Т.4, №2. – С.59-67.
16. Аветисов, Г.М. Стратегия НКРЗ по обоснованию временных пределов доз годового облучения населения после аварии на ЧАЭС. Концепция пожизненной дозы / Г.М. Аветисов, Л.А. Булдаков, К.И. Гордеев, Л.А. Ильин // Медицинская радиология. – 1989 – Т. 34, №8. – С. 3-11.
17. Ильин, Л.А. Экологические особенности и медико-биологические последствия аварии на Чернобыльской АЭС / Л.А. Ильин, М.И. Балонов, Л.А. Булдаков [и др.] // Медицинская радиология. – 1989. – Т. 34, № 11. – С. 59 – 81.
18. Методические принципы и рекомендации для расчета доз внешнего и внутреннего облучения населения, проживающего на территории, подвергшейся радиационному воздействию в результате аварии на ЧАЭС. Сб. методических материалов / Под ред. К.И. Гордеева. – Институт биофизики Минздрава СССР. – М., 1991.
19. МАГАТЭ. Международный консультативный комитет. Международный чернобыльский проект. Технический доклад «Оценка радиологических последствий и защитных мер». – Вена, МАГАТЭ, 1992.
20. Константинов, Ю.О. Распределение индивидуальных уровней содержания радиоактивного цезия у жителей западных районов Брянской области в первый год после аварии на ЧАЭС / Ю.О. Константинов // Радиация и риск. – 2007. – Т.16, №2-4, С. 72-83.
21. Брук, Г.Я. Дозы облучения жителей Российской Федерации вследствие аварии на Чернобыльской АЭС / Г.Я. Брук, В.Я. Голиков, И.А. Звонова [и др.] // Радиационная гигиена: сб. научн. тр. – СПб, 2003. – С. 44-74.
22. Оценка доз облучения населения Российской Федерации вследствие аварии на Чернобыльской АЭС: сб. метод. док. – изд. 3-е. – СПб., 2011. – 456 с.
23. ICRP, 2006. Assessing Dose of the Representative Person for the Purpose of the Radiation Protection of the Public. ICRP Publication 101a. Ann. ICRP 36 (3).
24. Концепция радиационной, медицинской, социальной защиты и реабилитации населения Российской Федерации, подвергшегося аварийному облучению // Российская научная комиссия по радиационной защите. – М., 1995. – 13 с.
25. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): СанПиН 2.6.1.2523-09. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 100 с.
26. ICRP 1993, Publication 63. Principles for Intervention for Protection of the Public in a Radiological Emergency. ICRP Publication 63 – Annals of the ICRP, v.22, N 4, Vienna.
27. Зыкова, И.А. Чернобыль и социум: оценки риска / И.А. Зыкова, Г.В. Архангельская, И.А. Звонова. – СПб.: Эсфигмень, 2001. – 128 с.
28. Byrom, J., Robinson, C., Simmonds, J.R., Walters, B., Taylor, R.R, 1995. Food consumption rates for use in generalized radiological dose assessments, J. Radiol. Prot. 15, 335-341.
29. Голиков, В.Ю. Анализ долгосрочной динамики доз внешнего облучения после Чернобыльской аварии / В.Ю. Голиков // Радиационная гигиена. – 2018. – Т.11, №4. – С.39-50.
30. Алексахин, Р.М. Крупные радиационные аварии: последствия и защитные меры / Р.М. Алексахин [и др.]; под ред. Л.А. Ильина и В.А. Губанова. – М.: ИздАТ, 2001. – 752 с.

Поступила: 22.04.2019 г.

Константинов Юрий Олегович – кандидат технических наук, пенсионер. Адрес для переписки: 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: yu-kon@rambler.ru

Для цитирования: Константинов Ю.О. Защита населения при крупномасштабной радиационной аварии: ослабление негативных социальных последствий защитных мероприятий. Часть 1. Интерпретация дозовых характеристик аварийной ситуации // Радиационная гигиена. – 2019. – Т. 12, № 2 (Спецвыпуск). – С.20-30. DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-2s-20-30.

Protection of the public in a large-scale radiation accident: mitigation of negative social consequences of protective actions.

Part 1. Interpretation of dose characteristics of emergency

Yuri O. Konstantinov

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 protective actions which were carried out with the purpose to reduce public exposure to radiation derived from the accidents at Chernobyl and Fukushima-1 nuclear power plants have caused negative consequences of social – psychological both social-economic character and medical nonradiological consequences. The corresponding damage put to the population of involved territories and to the entire society has considerably exceeded hypothetical benefit of aversion of radiation exposure. In the present study some possible ways of aprioristic maintenance of mitigation of the social damage accompanying realization of anti-radiation protective actions at large-scale radiation accident are considered. For the characteristic of total amount of the damage caused by protective actions, the scale of radiation and social protection in terms of a population of officially involved territories is accepted. The analysis of decisions on protection of the population in the Russian Federation against consequences of Chernobyl accident shows that at concrete radiation situation scales of protective actions differ more than on the order of magnitude, depending on criteria of decision-making and their administrative realization. Another factor that determines the scale of the accident is the degree of conservatism in the assessment of the radiation situation. The analysis of results of individual dosimetric examination of inhabitants of the western districts of the Bryansk region has shown steady values of statistical characteristics of distribution of the individual doses of an external and internal radiation caused by Chernobyl accident, according to which the value of 95% quantile of distribution in 2–3 times exceeds the average value at an examined sample of the population. Thus, application of the concept of “representative person” leads to overestimation of projected doses concerning to those corresponding to stochastic radiation effects. The results of such overestimation are expansion of scales of protective actions, prolongation of emergency, increase in accompanying social damage. As one of the ways to maintain aprioristic mitigation of social damage accompanying protective actions, the following position is offered. At a stage of an emergency, when there is enough information to consider, that the maximal public exposure to radiation will not achieve thresholds of deterministic effects, the decisions on protective actions violating normal human beings and socioeconomic functioning of territory is justified to accept on the basis of doses for the average person, instead of those for the most exposed people.

Key words: radiation accident, protective actions, emergency, Chernobyl accident, Fukushima-1 accident, population, critical group.

References

1. 20 years since the Chernobyl catastrophe: Results and perspectives of the mitigation of the consequences in Russia: 1986-2006. Russian National report. Ed. By S.K. Shoigu and L.A. Bolshov. Moscow, 2006, 92 p. (In Russian)
2. IAEA Safety Standards. Criteria for Use in Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency. № GSG-2. IAEA, Vienna, 2012, 137 p. (In Russian)
3. International Commission on Radiological Protection. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103: translation from English; edited by M.F. Kiselev, N.K. Shandala. Moscow, 2009, «Alana», 312 p. (In Russian)
4. ICRP, 2009. Application of the Commission's recommendations for the protection of people in emergency exposure situations. ICRP Publication 109. Ann. ICRP 39 (1).
5. International Atomic Energy Agency. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. GSR Part 3. Vienna: IAEA, 2015, 518 p. (In Russian)
6. IAEA Safety Standards. Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency. GSR Part 7. IAEA, Vienna, 2018, 160 p.
7. The Fukushima Daiichi Accident. Report by the Director General. IAEA, Vienna, 2015, 264 p.
8. Callen, J., Homma, Toshimitsu. Lessons learned in protection of the public for the accident at the Fukushima Daiichi nuclear power plant. Health Physics, 2017, v. 112, pp. 550-559.
9. Leppard, C., Tanimoto, T, Tsubokura, M. Public health after a nuclear disaster: beyond radiation risks. Bulletin of the World Health Organization, 2016, vol. 94, pp. 859-860.
10. Kislov M.V., Karlin N.E., Liberman A.N. [et al.] Various aspects of relocation of the residents from the Bryansk region areas affected by the Chernobyl NPP accident. Issues of mitigation of the consequences of the Chernobyl NPP accident. Proceedings of the international seminar. Bryansk, 1993, pt. 1, pp. 48-50. (In Russian)
11. Ramzaev P.V., Ivanov E.V., Liberman A.N., Komarov E.I. Comparative assessment of public health detriment from the Chernobyl accident and countermeasures. One decade

Yuri O. Konstantinov

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

Address for correspondence: Mira str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: yu-kon@rambler.ru

- after Chernobyl: Summing up the consequences of the accident. Int. Conf., Vienna, 8-12 April 1996. Poster presentations – Volume 2. IAEA-TECDOC-964, Vienna, IAEA, 1997, pp. 621-623.
12. 25 years since the Chernobyl NPP accident. Results and perspectives of the mitigation of the consequences 1986-2011. Russian national report. Ed. By S.K. Shoigu, L.A. Bolshov, Moscow, 2011, 160 p. (In Russian)
13. Tsyb A.F., Shakhrtarin V.V., Stepanenko V.F., Proshin A.D., Doroshenko V.N. Final results of the assessment and potential ways to reduce the medical consequences of the Chernobyl NPP accident. Health of the children and radiation: actual issues and solutions. Vol. 2, Moscow, 2005, pp. 23-30. (In Russian)
14. Konstantinov Yu.O., Parkhomenko V.I., Repin V.S., Travnikova I.G. Assessment of the doses of the internal exposure of the public by the cesium radionuclides for the radiation protection decision-making. Nearest and remote consequences of the radiation accident on the Chernobyl NPP. MZ USSR-IBF, Moscow, 1987, pp. 219-225. (In Russian)
15. Konstantinov Yu.O. Chernobyl accident: rationale and realization of decisions on protection of the population. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene. 2011;4(2):59-67. (In Russian)
16. Avetisov G.M., Buldakov L.A., Gordeev K.I., Ilyin L.A. NCRP strategy on the justification of the temporary dose limits of the annual exposure of the public after the Chernobyl NPP accident. The concept of the lifetime dose. Medical radiology, 1989, vol. 34, No. 8, pp. 3-11. (In Russian)
17. Ilyin L.A., Balonov M.I., Buldakov L.A. [et al.] Ecological features and medico-biological consequences of the Chernobyl NPP accident. Medical radiology, 1989, vol. 34, No.11, pp. 59-81. (In Russian)
18. Methodical principles and recommendations for the calculation of the doses from internal and external exposure of the public residing on the territory contaminated after the Chernobyl NPP accident. Compendium of methodical materials. Ed. By K.I. Gordeev. Institute of biophysics of the Ministry of Healthcare of USSR, Moscow, 1991. (In Russian)
19. IAEA. The international Chernobyl project technical report. Assessment of Radiological Consequences and Evaluation of Protective Measures. Report by an International Advisory Committee. Vienna, IAEA, 1992. (In Russian)
20. Konstantinov Yu.O. Distribution of the individual levels of radioactive cesium for the residents of the Western areas of Bryansk region in the first year after the Chernobyl NPP accident. Radiatsiya i risk = Radiation and risk, 2007, Vol. 16, № 2-4, pp.72-83. (In Russian)
21. Bruk G.Ya., Golikov V.Yu., Zvonova I.A. [et al.] Doses to the public of the Russian Federation due to the Chernobyl NPP accident. Radiation hygiene proceedings. St-Petersburg, 2003, pp. 44-74. (In Russian)
22. Assessment of the doses to the public of the Russian Federation due to the Chernobyl NPP accident: compendium of regulatory documents. 3d ed. St-Petersburg, 2011, 456 p. (In Russian)
23. ICRP, 2006. Assessing Dose of the Representative Person for the Purpose of the Radiation Protection of the Public. ICRP Publication 101a. Ann. ICRP 36 (3).
24. The concept of the radiation, medical, social protection and rehabilitation of the public of the Russian Federation exposed in emergency situations. Russian scientific commission on the radiation protection. Moscow, 1995, 13 p. (In Russian)
25. Sanitary rules and norms. SanPiN 2.6.1.2523-09. Norms of the radiation safety (NRB 99/2009). Registered in the Ministry of Justice of the Russian Federation 14.08.2009 N 14534. M, Federal Centre of Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor, 2009, 100 p. (In Russian)
26. ICRP 1992, Publication 63. Principles for Intervention for Protection of the Public in a Radiological Emergency. ICRP Publication 63 – Annals of the ICRP, v.22, N 4, Vienna.
27. Zykova I.A., Arkhangelskaya G.V., Zvonova I.A. Chernobyl and society: risk assessments. St-Petersburg, Esphigmen, 2001, 128 p. (In Russian)
28. Byrom, J., Robinson, C., Simmonds, J.R., Walters, B., Taylor, R.R., 1995. Food consumption rates for use in generalized radiological dose assessments, J. Radiol. Prot., 15, 335-341.
29. Golikov V.Yu. Analysis of the long-term dynamics of external doses of the population after the Chernobyl accident. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene. 2018;11(4):39-50. (In Russian)
30. Aleksakhin R.M. [et al.] Major radiation accidents: consequences and protective measures. Ed. By L.A. Ilyin and V.A. Gubanov. Moscow, IzdAT, 2001, 752 p. (In Russian)

Received: April 22, 2019

For correspondence: Yuri O. Konstantinov – PhD, retired (Mira str., 8, St.-Petersburg, 197101, Russia;
E-mail: yu-kon@rambler.ru)

For citation: Konstantinov Yu.O. Protection of the public in a large-scale radiation accident: mitigation of negative social consequences of protective actions. Part 1. Interpretation of dose characteristics of emergency. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene, 2019, Vol. 12, No. 2 (special issue), pp. 20-30. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426x-2019-12-2s-20-30.

Авария 1957 года: радиационная обстановка и дозы облучения участников ликвидации аварии на территории промышленной площадки ПО «Маяк»

Е.К. Василенко¹, Е.Е. Аладова¹, М.В. Горелов², В.А. Князев², Д.Н. Колупаев², С.А. Романов¹

¹Южно-Уральский институт биофизики Федерального медико-биологического агентства России, Озёрск, Россия

²Производственное объединение «Маяк» Росатом, Озёрск, Россия

Цель исследования: оценить радиационную обстановку на территории промплощадки ПО «Маяк», сформировавшуюся в результате аварии 1957 г., а также дозовые нагрузки на лиц, принимавших участие в ликвидации последствий этой аварии. Материалы и методы: на основании анализа архивных документов, данных журналов радиационной обстановки за 1957–1960 гг., картотеки индивидуального дозиметрического контроля и проведенных расчетов представлены материалы по измеренным и расчетным дозам облучения как работников ПО «Маяк», так и лиц сторонних организаций и воинских частей, привлеченных к ликвидации последствий аварии и охваченных индивидуальным контролем. Результаты: в работах по ликвидации последствий аварии на территории промышленной площадки ПО «Маяк» в 1957–1959 гг. приняли участие 38,5 тыс. человек, включая лиц, облученных непосредственно в момент аварии, а также работников ПО «Маяк», военных и гражданских строителей, принимавших участие в ликвидации последствий аварии. Дозы облучения от 25 до 30 Р получили около 10,5 тыс. человек, при этом имелись случаи облучения в дозах до 100 Р. Заключение: коллективная доза, полученная во время аварии и при ликвидации ее последствий в 1957–1959 гг., составила ≈820 тыс.чел.-Р, из них 457 тыс. чел.-Р за счет облучения военнослужащих и заключенных 10 лаготделений в момент и первые часы после аварии. Коллективные дозы, зарегистрированные в 4 квартале 1957 г., в 1958 и 1959 гг. у участников ликвидации последствий аварии составили 50 тыс.чел.-Р, 250 тыс.чел.-Р и 54 тыс.чел.-Р соответственно.

Ключевые слова: радиационная авария, зона радиоактивного загрязнения, дозы облучения, дезактивация, мощность экспозиционной дозы, приборы дозиметрического контроля, мероприятия по ликвидации последствий аварии.

Введение

Прошло уже более 60 лет с тех пор, как произошла первая и одна из наиболее серьезных радиационных аварий в истории атомной промышленности России – выброс радиоактивных веществ в атмосферу в результате взрыва хранившихся на ПО «Маяк» радиоактивных отходов.

Из-за существовавшего в то время режима секретности официальная открытая информация об этой аварии появилась только в 1989 г. Позднее стали выходить многочисленные публикации по этой проблеме, как в отечественной, так и в зарубежной литературе [1, 2, 3].

Однако огромное количество документов, хранящихся в архиве ПО «Маяк» и только в последнее время ставших доступными для изучения и опубликования, раскрывают новые подробности того, в какой сложной радиационной обстановке приходилось работать персоналу ПО «Маяк»,

специалистам других предприятий и военным строителям, привлеченным к ликвидации последствий аварии, а также какие приемы в работе при этом использовались.

Причиной аварии 1957 г. стали технические неисправности в системе охлаждения технологических емкостей с жидкими высокоактивными отходами, что в итоге привело к взрыву одной из емкостей. В атмосферу было выброшено 740 ПБк (20 МКи) активности средне- и долгоживущих радионуклидов, из которых 10%, т.е. ~74 ПБк (2 МКи), выпало по направлению ветрового движения радиоактивного облака, образовав узкий радиоактивный след протяженностью до 300 км – так называемый Восточно-Уральский радиоактивный след (ВУРС), а основная доля ~660 ПБк (18 МКи) осела на близлежащей к месту взрыва территории промышленной площадки ПО «Маяк» [3, 4].

Василенко Евгений Константинович

Южно-Уральский институт биофизики

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

Цель исследования – на основе архивных данных оценить радиационную обстановку и дозовые нагрузки на персонал, работников сторонних организаций и воинских частей во время аварийной ситуации 1957 г. и при ликвидации ее последствий на территории промплощадки ПО «Маяк».

Радиационная авария очень осложнила, но не остановила производственную деятельность предприятия, к которой добавился огромный объем работ по ликвидации последствий аварии. К этим работам был привлечен персонал всех заводов, попавших на территорию следа радиоактивного загрязнения. В состав сформированных санитарных отрядов были привлечены работники Южно-Уральского управления строительства и военно-строительных частей. Каждый отряд обеспечивался техникой: бульдозерами, грейдерами, пожарными машинами, экскаваторами, грузовыми автомобилями и автосамосвалами.

В работах по ликвидации последствий аварии на промплощадке ПО «Маяк» приняли участие около 38 500 человек. Все работы выполнялись в соответствии с планом мероприятий, составленным комиссией комбината и утвержденным министром среднего машиностроения СССР Е.П. Славским и начальником управления министерства А.Д. Зверевым [4–6].

Для организации работ был создан штаб под руководством главного инженера ПО «Маяк» Н.А. Семенова. Штаб работал круглосуточно.

Особое внимание уделялось району хранилища радиоактивных отходов, где в первую очередь была проведена отсыпка «чистым» грунтом территории непосредственного очага (места взрыва) и территории между зданиями хранилища как наиболее загрязненных участков, создающих высокий уровень мощностей доз на смежных территориях. Засыпки проводились слоем грунта толщиной 1–2 м, а более «чистые» участки – слоем 0,2–1 м. Всего в районе хранилища было отсыпано 93 500 м³ чистого грунта [7, 8].

На территории промплощадки с обочин бетонных дорог и с поверхности грунтовых дорог автогрейдерами был снят верхний слой грунта, а вдоль дорог слой грунта толщиной 5–10 см был отодвинут бульдозерами на расстоянии 25–30 м. Работы по отмывке дорог, кровель зданий и т.п. проводились с привлечением пожарной техники и работников пожарной охраны.

Проведенный комплекс работ позволил к 30.03.1958 г. снизить мощность дозы в районе хранилища высокоактивных отходов в 500 раз, а работы по дезактивации территории заводов и промплощадки были закончены к концу 1959 г. [9].

Выполнение значительных объемов работ в короткие сроки в условиях сложной радиационной обстановки привело к высоким уровням внешнего облучения как персонала ПО «Маяк», так и лиц, привлеченных к ликвидации последствий аварии 1957 г.

Все материалы, приведенные в статье, имеют документальное подтверждение. Данные по зарегистрирован-

ными дозам облучения как работников ПО «Маяк», так и лиц сторонних организаций и воинских частей, привлеченных к ликвидации последствий аварии и охваченных индивидуальным контролем, взяты из архива ПО «Маяк» и архива индивидуального дозиметрического контроля (ИДК) отдела радиационной безопасности. В связи с тем, что данные по дозам облучения военных и гражданских строителей за период ликвидации аварии (приблизительно на 13,5 тысяч человек) хранятся в архиве ИДК на бумажных носителях [8–23] и до настоящего времени данные не оцифрованы, информация об измеренных дозах этого контингента ликвидаторов представлена на основании обобщенных отчетных документов за 1957–1959 гг.

Поиском и обработкой материалов из архивных документов об аварии в течение нескольких лет в начале 1990-х гг. занимались старейшие работники службы дозиметрии ПО «Маяк», участвовавшие в ликвидации последствий этой аварии и знающие сложившуюся ситуацию изнутри, а не понаслышке: А.Ф. Лызов, Л.А. Думенек, В.И. Сеницын, Э.С. Котов, Е.И. Андреев, а также работники Филиала №1 Института биофизики (ФИБ-1) под руководством Э.Р. Любчанского. За это им большая благодарность.

Приведенные в статье данные по радиационной обстановке и дозам облучения персонала основаны на показаниях приборов дозиметрического контроля, применявшихся в то время: пленочные дозиметры ИФК, ИФК со свинцовым фильтром, радиометры ПР-1 «Карагач», ПМР-1, РУП-1 (Россия).

Значения измеренных физических величин представлены в тех единицах, в которых они записаны в архивных документах (экспозиционная доза излучения – рентген (Р), мощность экспозиционной дозы излучения – рентген в час (Р/ч) или микрорентген в секунду (мкР/с), так как перевод в современную дозиметрическую систему, например, в дозу на глубине 1 г/см² ткани ($H_{p(10)}$), требует разработки и реализации определенных методик, что будет выполнено при дальнейших исследованиях.

Для формального перевода доз облучения, выраженных в Р, в поглощенную дозу в мягкой биологической ткани (сГр) экспозиционную дозу облучения работников или их коллективную дозу необходимо умножить на коэффициент 0,96.

Радиационная обстановка на промышленной площадке

Взрыв емкости с радиоактивными отходами завода 25¹ произошел в воскресенье 29 сентября 1957 г. в 16:20 по местному времени. Стояла сухая теплая погода.

След от радиоактивного облака прошел по территории заводов 25, 35², 45³, 24⁴, 37⁵, 22⁶, цеха сетей и подстанций (ЦСП), энергоцеха (ЭНЦ), пожарной части ВПЧ-3, через 10-е лаготделение осужденных и военный городок

¹ Завод 25 – радиохимический завод [radiochemical plant];

² Завод 35 – строящийся (не введенный на момент аварии) новый радиохимический завод [new radiochemical plant under construction not put into operation at the time of the accident];

³ Завод 45 – радиоизотопный завод [radioisotope plant];

⁴ Завод 24 – реакторный завод [reactor plant];

⁵ Завод 37 – реакторный завод [reactor plant];

⁶ Завод 22 – завод водоподготовки [water treatment plant].

в/ч 20156, 25529, 3445, расположенных в 3–3,5 км от места взрыва, и пересек участок зоны промышленной площадки между 1-й и 9-й заставами в/ч 3445 [17]. Персонал, находящийся в это время на территории и в промышленных зданиях указанных подразделений, подвергся радиоактивному загрязнению и облучению.

Облучению в момент взрыва за счет прохождения радиоактивного облака и загрязнения территории подверглись около 5100 человек, в том числе:

– сменный персонал заводов 25, 24, 37, 22 – 228 человек;

- военно-пожарная часть ВПЧ-3 – 22 человека;
- военные строители в/ч 20156 и 25529 – 3115 человек;
- личный состав в/ч 3445 – 730 человек;
- осужденные лаготделения – 1002 человека.

Ширина следа на расстоянии 1–2 км от места взрыва составила 0,5–1 км, а на расстоянии 12 км – 1,5 км. Однако за счет ветрового переноса границы следа расширились. Так, 12.10.1957 г. дул сильный юго-восточный ветер, в результате чего западная граница следа значительно переместилась. Мощность экспозиционной дозы (МЭД) гамма-излучения на оси следа по данным измерений службы дозиметрии на 30.09.1957 г. представлена на рисунке 1.

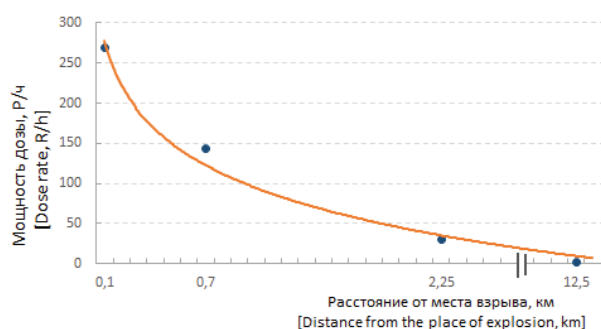


Рис. 1. Мощность экспозиционной дозы гамма-излучения на оси следа аварии 1957 г. (данные измерений на 30.09.1957 г.)
[Fig. 1. Gamma radiation exposure rate on the axis of the track of the accident in 1957 (measurements data on 09/30/1957)]

В зависимости от расстояния до эпицентра взрыва и оси следа МЭД на территории объектов, попавших в зону радиоактивного загрязнения, на 30.09.1957 г. составляла [16, 24]:

- район комплекса хранилищ радиоактивных отходов завода 25 – 360–1000 Р/ч;
- площадка завода 25 в районе технологических цехов – 0,4–8,0 Р/ч;
- площадка завода 35 – 0,1–70 Р/ч;
- площадка завода 45 – 70–75 Р/ч;
- площадка завода 24 – 15–18 Р/ч;
- площадка завода 37 – 1,4 Р/ч;
- площадка завода 22 – 1,5 Р/ч;
- военный городок и лагерь осужденных – 15–18 Р/ч.

Границы следа радиоактивного загрязнения территории промышленной площадки с границей МЭД до 0,01 Р/ч на начало октября 1957 г. показаны на рисунке 2 [8].

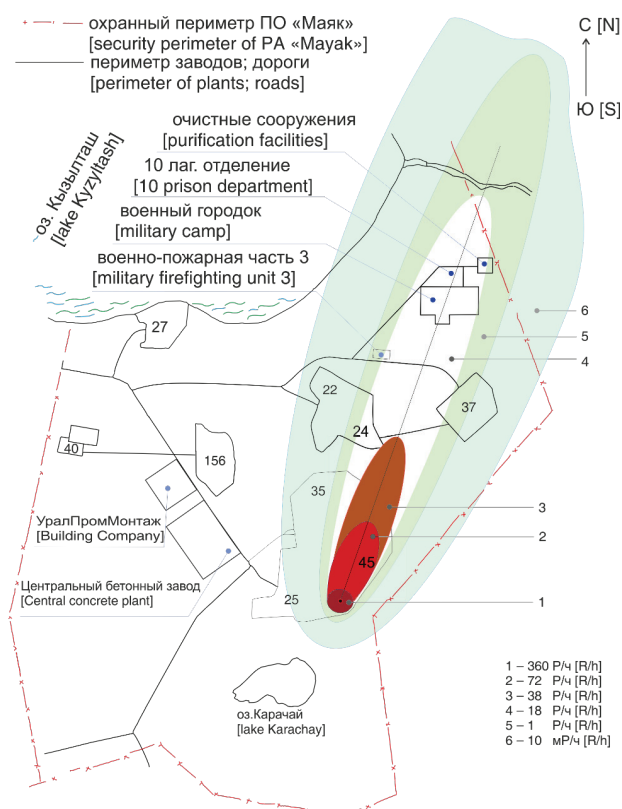


Рис. 2. Границы следа радиоактивного загрязнения территории промышленной площадки ПО «Маяк» на начало октября 1957 г.
[Fig. 2. The boundaries of radioactive contamination trace of the industrial site territory in the beginning of October 1957 [8]]

Работы по отсыпке чистым грунтом и дезактивации территории промплощадки проводились круглосуточно. Механизмы работали с «чистого» грунта, не заезжая на загрязненную территорию. В результате проведения работ МЭД в районе комплекса зданий по хранению радиоактивных отходов в марте 1958 г. составила 50–400 мР/ч, а к концу 1958 г. не превышала 20 мР/ч. На промышленной площадке ПО «Маяк» работы по дезактивации зданий и территорий были закончены к концу 1959 г. Анализ данных радиационной обстановки показал, что к началу 1960 г. значение МЭД на рабочих местах в основном не превышало 1 мР/ч [7].

В момент возникновения аварии персонал основных цехов заводов предприятия находился в защитной спецодежде со средствами индивидуального контроля внешнего гамма-излучения. Остальной персонал, попавший на территорию радиоактивного следа, был в личной одежде, без средств контроля и не имел информации о сложившейся обстановке.

Первыми на пути движения радиоактивного облака оказались работавшие в этот момент технологические здания завода 24. Во всех помещениях включилась дозиметрическая сигнализация стационарных приборов. Загрязнение территории промышленной площадки обнаружили дозиметристы заводов, которые сообщили о резком повышении радиационного фона. Об обнаружении аварийного выброса сообщили диспетчеру предприятия.

После сообщений на промплощадку были вызваны ответственные сотрудники предприятия для измерения радиационной обстановки и организации работ по ликвидации последствий аварии.

В ночь на 30.09.1957 г. приборами ПМР-1 и ПР-1 «Карагач» были проведены измерения МЭД территории промплощадки. Было ограничено движение, прекращены строительные и монтажные работы на загрязненных территориях, сняты посты военной охраны, попавшие на след. 30.09.1957 г. был закончен вывод в «чистую» зону военнотрудовых военного городка и осужденных 10 лаготделения, а также пожарных расчетов военной пожарной части № 3 (ВПЧ-3). Военнослужащие в/ч 20156 и 25529 к работам по ликвидации аварии впоследствии не привлекались.

Во время аварии 1957 г. и в период ликвидации ее последствий на территории промплощадки ПО «Маяк» дозы облучения персонала и лиц, причастных к этой ситуации, складывались из следующих составляющих.

Во время и в ближайшие часы после аварии:

- внутреннее облучение от ингаляции радионуклидов при прохождении загрязненного облака;
- внешнее облучение гамма-бета-радионуклидами за счет нахождения в зданиях и на территориях, расположенных на следе радиоактивного загрязнения;
- облучение за счет загрязнения одежды до проведения дезактивации после вывода из очага загрязнения.

Наибольшему облучению подверглись военнослужащие в/ч 20156, 25529, 3445 и осужденные 10-го лаготделения, находившиеся в момент взрыва на открытом месте или в казармах с малым коэффициентом защиты от гамма-излучения, без средств защиты органов дыхания, а также военнослужащие в/ч 3445 постов охраны заводов 25 и 24 [11, 14, 15].

Загрязнение одежды у персонала за счет нахождения на загрязненной территории достигало 20 000 β -частиц/мин/см², а у военнослужащих, выведенных из военного городка, измерение загрязнения одежды можно было произвести только прибором ПМР-1, показания которого достигали 200 мкР/с.

Во время ликвидации последствий аварии:

- внешнее облучение бета-гамма-излучающими радионуклидами лиц, участвовавших в ликвидации последствий аварии;
- внутреннее облучение за счет ингаляционного поступления радионуклидов при работе на следе радиоактивного загрязнения;
- облучение за счет проезда (прохода) по загрязненной территории по пути следования на работу и с работы (до получения индивидуального дозиметра).

Вследствие того, что на следе аварии имела место очень высокая поверхностная загрязненность, для защиты персонала от загрязнения кожных покровов и ингаляционного поступления при проведении работ в широком масштабе применялись следующие средства

индивидуальной защиты: противогазы, респираторы ШБ-«Лепесток», прорезиненные костюмы СК-01, пластиковые комбинезоны, резиновые сапоги и перчатки.

Однако путь до места работы (санпропускника здания), где работники переодевались в спецодежду и получали средства ИДК, и обратно, до проведения дезактивации дорог и пешеходных дорожек проходил по загрязненной территории, а в некоторых случаях приходилось пересекать ось следа. Так, весь персонал завода 37 ежедневно пересекал зону радиоактивного следа. Измеренная индивидуальная доза облучения за один проход в первые дни после аварии составила 0,32 Р, а суммарная за 4-й квартал 1957 г. – 3,3 Р [10].

Методы и приборы контроля

В 1957 г. в СССР дозы облучения работников атомной отрасли ограничивались «Санитарными нормами проектирования предприятий и лабораторий», утвержденными 11.04.1954 г., №851 [25]. В соответствии с данным документом доза облучения работников не должна была превышать 15 Р/год (0,05 Р/день). При радиационной аварии допускалось облучение работников дозой до 25 Р/год.

Приказом Министерства среднего машиностроения № 560 для персонала заводов 25, 35, 45 и лиц, привлеченных к ликвидации последствий аварии на этих заводах, была установлена индивидуальная дневная доза облучения до 0,8 Р [8]. При достижении дозы 25 Р персонал выводился на три месяца в «чистые» условия, а затем должен был вернуться на свое рабочее место. На остальных территориях и заводах была установлена дневная доза облучения до 0,2 Р, а индивидуальная суммарная доза за год не должна была превышать 15 Р [8].

В момент аварии и при ликвидации ее последствий все работники основного производства ПО «Маяк» были обеспечены индивидуальными дозиметрами, показания которых хранятся в архиве группы ИДК ПО «Маяк» и доступны для анализа.

При организации работ по ликвидации последствий аварии промышленная площадка ПО «Маяк» на территории заводов была разделена на «чистые» и «грязные» участки. «Грязные» участки, в свою очередь, делились на три зоны.

Опасная (первая) зона – включала в себя территорию с высокими значениями МЭД, работа на которой приводила к облучению в дозах, близких к предельно допустимым (ПДД), а при определенных условиях – и к превышению этих норм. Работа в этой зоне проводилась по допуску формы ТБ-1⁷ с обязательным ИДК и непрерывным контролем со стороны отдела дозиметрического контроля.

Наблюдаемая (вторая зона) – рабочие места и работы, при выполнении которых доза облучения составляла от 0,3 до 1 ПДД. Работы в этой зоне проводились по допуску формы ТБ-2⁸ при периодическом контроле службы дозиметрии и выборочном или групповом ИДК.

⁷ Допуск ТБ [Permission TB] – это письменное разрешение на проведение работ в полях повышенного радиационного воздействия, в котором указывалось место и содержание работ, которые предстояло выполнить, мероприятия по снижению радиационного воздействия и необходимые средства индивидуальной защиты (СИЗ). Допуск по форме ТБ-1 мог ограничивать работу по времени и требовал постоянного дозиметрического контроля [written permission to work in the fields of increased radiation exposure, which indicated the place and work to be performed, activities to reduce radiation exposure and the necessary personal protective equipment. Permission TB-1 could limit the work time and required constant dosimetric control].

⁸ При допуске по форме ТБ-2 проводился периодический контроль со стороны службы дозиметрии [With a permission TB-2, periodic monitoring by the dosimetry service was carried out].

Безопасная (третья) зона – это рабочие места и работы, при выполнении которых доза облучения не превышала 5 Р/год. Контроль со стороны службы дозиметрии проводился 1–2 раза в месяц, а ИДК отсутствовал.

ИДК для работников «чистой» зоны не проводился, потому что нижняя граница отчетности за облучение персонала основного и вспомогательного производств в период 1954–1960 гг. составляла 5 Р.

Таким образом, в архиве ПО «Маяк» присутствуют данные по дозам облучения ликвидаторов аварии из числа строителей, монтажников и военных строителей, стоявших на ИДК в 1957–1960 гг. Кроме того, в оперативных и отчетных документах за 1957–1959 гг. приводятся списки (по нарастающему итогу) на ликвидаторов, дозы облучения которых превысили 5 Р. Несмотря на значительный объем имеющихся данных, часть лиц, в том числе оказавшихся на пути прохождения радиоактивного облака, не имеют ни зарегистрированных данных ИДК, ни расчетных доз облучения. Не были учтены дозы, полученные персоналом во время передвижения по территории промплощадки до и после окончания рабочего времени без средств ИДК.

Для того чтобы более полно оценить дозы, полученные на территории промплощадки во время аварии, и дозозатраты при ликвидации ее последствий, во время работ по архивному поиску были разработаны и утверждены методики расчета доз облучения для наиболее значимых ситуаций, в которых ИДК отсутствовал. Это прежде всего «Методика расчета доз внешнего гамма-излучения личного и вольнонаемного состава военно-строительных частей, внутренних войск и осужденных, оказавшихся в зоне радиоактивного следа в результате аварии 29.09.1957 г. на ПО «Маяк», разработанная коллективом авторов ФИБ-1 [26], а также «Методика расчета доз внешнего облучения персонала, работавшего на территориях заводов 25, 35, 37, 24 и 22 и находившихся в зданиях на следе радиоактивности от взрыва 29.09.1957 г.», разработанная сотрудниками службы дозиметрического контроля ПО «Маяк», и другие методические документы.

В методиках на основании данных о радиационной обстановке и ее динамике, времени нахождения на открытой местности и в зданиях с различным коэффициентом защиты проведен расчет средних доз облучения для разных ситуаций.

Таким образом, дозы облучения персонала и лиц, участвовавших в ликвидации последствий аварии 1957 г. на промышленной площадке ПО «Маяк», складываются из 2 составляющих – дозы, измеренной индивидуальными дозиметрами и зарегистрированной в архиве ИДК ПО «Маяк», и дозы, рассчитанной по разработанным методикам на основании параметров радиационной обстановки в ситуациях, когда ИДК отсутствовал.

Дозы внутреннего облучения за счет ингаляционного поступления радионуклидов при выполнении работ на территории радиоактивного следа не рассчитывались. По данным [27], эта доза была значительно ниже доз внешнего облучения. Следует также учесть, что при этих работах персонал применял средства индивидуальной защиты органов дыхания – противогазы и респираторы «Лепесток».

Значения доз, полученных за счет ингаляционного поступления при нахождении людей на открытой местности без средств индивидуальной защиты органов дыхания при прохождении радиоактивного облака, приводятся на основа-

нии данных работы [27], в которой оценены дозы на легкие, желудочно-кишечный тракт (ЖКТ) и скелет от радионуклидов, входящих в состав отходов, выброшенных из хранилища.

Сложные условия радиационной обстановки основного производства ПО «Маяк» с момента пуска в 1948 г. первого уран-графитового реактора, а затем и радиохимического завода приводили к необходимости выполнения работ в радиационных полях с высокой мощностью дозы. Однако эти условия стимулировали развитие дозиметрии, методов организации работ в условиях высоких дозовых воздействий, разработку и применение средств индивидуальной защиты. Быстрыми темпами развивалась приборно-методическая база радиационного контроля. Появились новые радиометрические приборы, модернизировались средства индивидуального контроля доз внешнего облучения. Это позволило с первых дней организовать работы по ликвидации последствий аварии в соответствии с принятой на предприятии системой радиационного контроля. Измерения радиационных факторов осуществлялись с применением стационарных и переносных приборов контроля.

Для контроля мощности экспозиционной дозы применялись переносные приборы – микрорентгенометр ПМР-1 и ПР-1 «Карагач», верхний предел измерений которого составлял 100 000 мкР/с. Радиометр РУП-1 с бета-датчиком применялся для контроля транспорта и грузов, вывозимых с территории промплощадки, а также для контроля в «чистой» зоне.

Радиометром «ТИСС» с датчиком «ТЧ» определялась степень загрязнения рук, личной одежды и обуви.

С помощью установок СУ-1 проводился контроль загрязненности тела в санпропускниках, а также контроль загрязненности личной одежды и обуви в проходных заводов и на входе в столовые.

С момента пуска в 1948 г. первой реакторной установки для индивидуального контроля внешнего гамма-излучения на предприятии применялся фотопленочный метод ИФК (табл. 1) [28].

Дозиметр ИФК имел диапазон измерений от 0,05 до 25 Р, погрешность единичного измерения составляла $\pm 30\%$ в диапазоне энергий гамма-квантов от 0,4 до 1,25 МэВ. Однако, как показала практика, в полях более мягких фотонов энергетическая зависимость чувствительности дозиметра возрастала в 10 и более раз (рис. 3) [27].

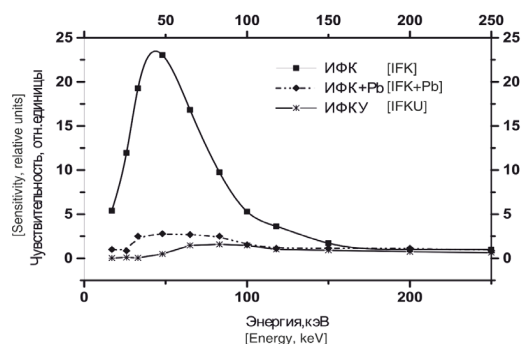


Рис. 3. Энергетическая зависимость дозовой чувствительности индивидуальных пленочных дозиметров типа ИФК, ИФК+Pb, ИФКУ

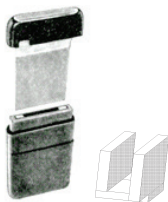
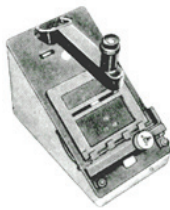
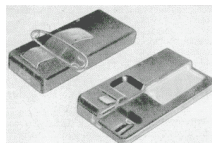
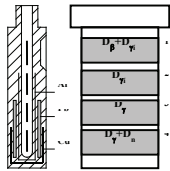
[Fig. 3. Energy dependence of dose sensitivity for individual film dosimeters IFK, IFK+ Pb, IFKU]

Данные о применявшихся на ПО «Маяк» средствах индивидуального дозиметрического контроля [28]

Таблица 1

[Table 1]

Means of individual dosimetric control used on PA "Mayak" [28]

Внешний вид [Appearance]	Наименование прибора [Name of the device]	Назначение [Destination]	Технические характеристики [Technical parameters]	Период использования [Period of use]
	Пленочный дозиметр ИФК [Photofilm do- simeter IFK]	Измерение индивидуальной дозы гамма-излучения [Measurement of individual gamma radiation dose]	Дозиметр ИФК представлял собой прямоугольную кассету размером 67×43×9 мм из карболита. Диапазон измерений составлял от 0,05 до 25 Р. [Measurement range was from 0.05 to 25 R]. Погрешность определения дозы для энергий гамма-квантов от 0,4 до 1,25 МэВ составляла ± 30%. Для градуировки метода использовались источники Ra-226 [The dose determination error for gamma- quantum energies from 0.4 to 1.25 MeV was ±30%. To calibrate the method, Ra-226 sources were used].	1948–1953 гг.
	Пленочный дозиметр ИФК со свинцовым фильтром [Photofilm do- simeter IFK with lead filter]	Измерение индивидуальной дозы гамма- излучения [Measurement of individual gamma radiation dose]	Для компенсации зависимости чувствительности от энергии гамма-излучения поверх корпуса кассеты ИФК наклеивалась П-образная пластинка свинца, толщиной 0,75 мм. Для градуировки использовались источники Co-60. Погрешность 30%. [To compensate for the dependence of sensitivity of gamma-radiation on top of the outer casing IFK pasted U-shaped plate of lead with a thickness of 0,75 mm. For the calibration, Co-60 sources were used. Error was 30%.	1953–1960 гг.
	Денситометр ИФТ-11 [Densitometer IFT-11]	Контроль оптической плотности почернения пленки [Control of opti- cal density of film blackening]	Фотометрирование плёнок проводилось на денситометре ИФТ-11, на котором почернение определялось в сравнении с оптическим клином Государственного Оптико- Механического Завода (ГОМЗ). [Photometry of films was carried out on the IFT-11 densitometer, on which blackening was determined in compari- son with the optical wedge of the State Optical- Mechanical Plant (GOMZ)]	1948–1960 гг.
 	Пленочный дозиметр ИФКУ [[Photofilm do- simeter IFKU]	Измерение индивидуальной дозы гамма-, бета-излучения и тепловых нейтронов [Individual dose measurement of gamma, beta and thermal neutrons]	Диапазон измерений гамма-излучения от 0,05 до 2 рад. Основная погрешность 30%. Дополнительная погрешность за счет энергетической зависимости чувствительности в диапазоне энергий от 0,1 до 3 МэВ не более 20%. Бета-излучение с граничной энергией 0,1 МэВ и выше. Эквивалентная доза тепловых нейтронов от 0,05 до 2 бэр. [The measurement range of gamma radiation from 0.05 to 2 rad. Basic error was 30% Additional error due to the energy dependence of the sensitivity in the energy range from 0.1 to 3 MeV is not more than 20%. Beta radiation with a boundary energy of 0.1 MeV and above. The equivalent dose of thermal neutrons from 0.05 to 2 rem].	1961–1992 гг.

Для улучшения энергетических характеристик дозиметра, начиная с 1954 г., на его корпус стал наклеиваться «П»-образный свинцовый фильтр толщиной 0,75 мм. Благодаря этому энергетическая зависимость чувствительности дозиметра к фотонам с энергией до 100 кэВ не превышала 3, что значительно улучшило их дозиметрические характеристики. Как показано в работе [28], коэффициент, учитывающий энергетическую зависимость чувствительности дозиметра ИФК со свинцовым фильтром, в спектрах фотонов загрязненных территорий после аварии 1957 г. на промплощадке ПО «Маяк» составлял 1,1, т.е. не превышал 10% от показаний дозиметра.

С учетом опыта эксплуатации метода ИФК на ПО «Маяк» к 1961 г. был разработан и внедрен на производстве дозиметр ИФКУ, который имел сложный компенсирующий фильтр из свинца и алюминия, позволяющий улучшить дозиметрические характеристики метода ИФК (см. табл. 1). Этот метод без изменения применялся на ПО «Маяк» до 1992 г.

Таким образом, к моменту, когда в 1957 г. произошел выброс радиоактивных отходов, на ПО «Маяк» имелся комплекс аппаратных и технических средств для разведки и контроля радиационной обстановки на следе радиоактивного загрязнения, а также для организации и проведения работ на этой территории значительными силами как персонала ПО «Маяк», так и привлеченных к этим работам строительных, монтажных организаций и военных строителей.

Облучение персонала и лиц, находившихся на территории промплощадки во время взрыва и в первые часы после аварии

Часть военнослужащих в момент аварии находились на постах охраны периметров заводов, попавших на след аварии. До момента снятия этих постов военнослужащие получили повышенные дозы облучения, которые представлены в таблице 2.

Аварийному облучению в момент взрыва и в первые часы после аварии (29–30 сентября 1957 г.) подверглись 4869 человек военнослужащих и осужденных 10-го лаготделения вне сферы их трудовых обязанностей, а также 14 военнослужащих, несущих караульную службу на постах охраны заводов и 22 сотрудника ВПЧ-3, находившихся на дежурстве. Максимальные дозы облучения 150 Р и 100 Р

получили соответственно 6 человек военнослужащих постов охраны завода 25 и 4 человека завода 24, 730 военнослужащих в/ч 3445 – по 52 Р, а 22 человека из ВПЧ-3 – по 27 Р.

Облучению также подверглись 228 человек сменного персонала подразделений ПО «Маяк», попавших на след радиоактивного облака. Однако, как было сказано выше, этот персонал находился в промышленных зданиях с большим коэффициентом защиты от гамма-излучения и имел средства ИДК. Их дозы облучения за смену составили от 0,1 Р до 1,5 Р и будут учтены при анализе доз персонала заводов.

3115 человек военных строителей в/ч 20156 и 25529 получили дозы по 107 Р, а 1002 человека из осужденных 10-го лаготделения – по 79 Р.

Дозы внутреннего облучения за счет ингаляционного поступления радиоактивных аэрозолей во время прохождения облака приводятся в таблице 3 на основании данных [27].

Дозы за счет внутреннего облучения персонала завода 24, территория которого также частично попала на след облака, в 20–100 раз ниже по сравнению с дозами военнослужащих и осужденных.

Облучение за счет работ по ликвидации последствий аварии

Основные подразделения ПО «Маяк»

Завод 25. К работам по ликвидации последствий аварии был привлечен весь персонал завода 25. В момент взрыва на рабочих местах работали 120 человек. Зарегистрированная доза облучения за эту рабочую смену составила 1,5 Р. Расчетная доза за счет прохода по загрязненной территории – 1,0 Р.

Количество работников завода с измеренной дозой облучения свыше допустимого значения, т.е. более 0,8 Р за смену (так называемые «сигналисты») представлено в таблице 4.

Из таблицы 4 видно, что в октябре 1957 г. каждый второй из работников, находившихся на ИДК, не укладывался в дневную норму облучения. В 4 квартале 1957 г. измеренная доза облучения составляла от 20 до 49 Р для 120 человек.

Дозы облучения персонала заводов 25, 35, 45, 24, 37 и 22 в 1957–1959 гг., по данным [9–23], представлены в таблице 5.

Таблица 2
[Table 2]
Дозы внешнего гамма-излучения военнослужащих постов охраны периметров заводов за 29.09.1957 г.

External gamma doses of military security posts of the plants perimeters for 09/29/1957]			
Подразделение [Department]	Количество человек [Number of persons]	Расчетная доза облучения, Р [Estimated radiation dose, R]	Коллективная доза, чел.-Р [Collective dose, person-R]
Завод 25 [Plant 25]	6	150	900
Завод 24 [Plant 24]	4	100	400
Завод 37 [Plant 37]	2	30	60
Завод 22 [Plant 22]	2	20	40
Итого [In total]	14	–	1400

Таблица 3

Дозы внутреннего облучения за счет ингаляционного поступления радиоактивных аэрозолей за время прохождения облака на открытой местности на расстоянии 2–3 км от места взрыва

[Table 3]

Internal doses due to radioactive aerosols inhalation during the passage of the cloud in the open area at a distance of 2–3 km from the site of the explosion]

Место нахождения [Location]	МЭД после прохождения облака, Р/ч [MED after passing the cloud, R/h]	Эквивалентная доза на легкие, сЗв [Equivalent dose to lungs, cSv]	Эквивалентная доза на ЖКТ, сЗв [Equivalent dose to gastrointestinal tract, cSv]	Эквивалентная доза на костную ткань, сЗв [Equivalent dose to bone, cSv]
Военный городок [Military camp]	15	53	10	23
Лагерь осужденных [Prison camp]	15	53	10	23
ВПЧ-3 [Military firefighting unit-3]	5	10,6	2	4,6
Ось следа [The axis of the trace]	15	53	–	23

Таблица 4

Количество работников завода 25 с зарегистрированной дозой облучения выше 0,8 Р за смену («сигналисты»)

[Table 4]

The number of workers from the plant No. 25 with radiation dose above 0,8 R per shift (“signalers”)]

Количество человек [Number of persons]	Октябрь 1957 г. [October 1957]	Ноябрь 1957 г. [November 1957]	Декабрь 1957 г. [December 1957]
Контролируемые [Controlled]	1704	1773	1746
«Сигналисты» [“Signalers”]	816	268	126

Таблица 5

Коллективные, средние и максимальные дозы облучения персонала заводов 25, 35, 45, 24, 37, 22 в 1957–1959 гг.

[Table 5]

Collective, average and maximum doses of personnel from the plants Nos. 25, 35, 45, 24, 37, 22 for 1957–1959]

Подразделение [Department]	4-й квартал 1957 г. [4th quarter 1957]							
	Измеренная доза [Measured dose]				Расчетная доза [Estimated dose]			
	Количество человек [Number of persons]	Коллек- тивная доза, чел.-Р [Collective dose, person-R]	Средняя доза, Р [Mean dose, R]	Мак доза, Р [Max dose, R]	Количество человек [Number of persons]	Коллек- тивная доза, чел.-Р [Collective dose, person-R]	Средняя доза, Р [Mean dose, R]	Мак доза, Р [Max dose, R]
Завод 25 [Plant 25]	1 704	10 900	6,4	93,0	600	1 000	1,7	2,0
Завод 35 [Plant 35]	175	1 137	6,5	45,6	–	–	–	–
Завод 45 [Plant 45]	140	1 483	10,6	23,8	–	–	–	–
Завод 24 [Plant 24]	802	1 960	2,4	15,8	700	1 470	2,1	9,7

Подразделение [Department]	4-й квартал 1957 г. [4th quarter 1957]							
	Измеренная доза [Measured dose]				Расчетная доза [Estimated dose]			
	Количество человек [Number of persons]	Коллек- тивная доза, чел.-Р [Collective dose, person-R]	Средняя доза, Р [Mean dose, R]	Мак доза, Р [Max dose, R]	Количество человек [Number of persons]	Коллек- тивная доза, чел.-Р [Collective dose, person-R]	Средняя доза, Р [Mean dose, R]	Мак доза, Р [Max dose, R]
Завод 37 [Plant 37]	728	2 000	2,7	15,2	728	2 370	3,3	3,3
Завод 22 [Plant 22]	–	–	–	–	560	980	1,8	12,9
Итого: [In total]	3 549	17 480	4,9	–	2 588	5 820	2,25	–
	1958 г. [1958]							
	Количество человек [Number of persons]	Коллек- тивная доза, чел.-Р [Collective dose, person-R]	Средняя доза, Р [Mean dose, R]	Мак доза, Р [Max dose, R]	Количество человек [Number of persons]	Коллек- тивная доза, чел.-Р [Collective dose, person-R]	Средняя доза, Р [Mean dose, R]	Мак доза, Р [Max dose, R]
	Количество человек [Number of persons]	Коллек- тивная доза, чел.-Р [Collective dose, person-R]	Средняя доза, Р [Mean dose, R]	Мак доза, Р [Max dose, R]	Количество человек [Number of persons]	Коллек- тивная доза, чел.-Р [Collective dose, person-R]	Средняя доза, Р [Mean dose, R]	Мак доза, Р [Max dose, R]
Завод 25 [Plant 25]	1 896	30 000	15,8	53,0	600	300	0,5	1,0
Завод 35 [Plant 35]	701	3 740	5,3	27,6	–	–	–	–
Завод 45 [Plant 45]	260	1 820	7,0	17,9	–	–	–	–
Завод 24 [Plant 24]	840	2 503	3,0	14,8	700	312	0,4	1,6
Завод 37 [Plant 37]	779	3 724	4,8	15,0	779	62	0,1	0,1
Завод 22 [Plant 22]	–	–	–	–	560	540	1,0	9,4
Итого: [In total]	4 476	41 787	9,3	–	2 639	1214	0,5	–
	1959 г. [1959]							
	Количество человек [Number of persons]	Коллек- тивная доза, чел.-Р [Collective dose, person-R]	Средняя доза, Р [Mean dose, R]	Мак доза, Р [Max dose, R]	Количество человек [Number of persons]	Коллек- тивная доза, чел.-Р [Collective dose, person-R]	Средняя доза, Р [Mean dose, R]	Мак доза, Р [Max dose, R]
	Количество человек [Number of persons]	Коллек- тивная доза, чел.-Р [Collective dose, person-R]	Средняя доза, Р [Mean dose, R]	Мак доза, Р [Max dose, R]	Количество человек [Number of persons]	Коллек- тивная доза, чел.-Р [Collective dose, person-R]	Средняя доза, Р [Mean dose, R]	Мак доза, Р [Max dose, R]
Завод 25 [Plant 25]	1 728	23 500	13,5	47,2	600	60	0,1	0,2
Завод 35 [Plant 35]	1 042	5 000	4,8	20,6	–	–	–	–
Завод 45 [Plant 45]	249	1 500	6,0	17,3	–	–	–	–
Завод 24 [Plant 24]	589	1 700	2,9	14,0	600	46	0,1	0,2
Завод 37 [Plant 37]	737	3 950	5,3	14,6	737	15	–	–
Завод 22 [Plant 22]	–	–	–	–	560	540	1,0	1,6
Итого: [In total]	4 345	35 650	8,2	–	2 497	661	0,3	–

Завод 35. В 1957–1958 гг. технологические здания завода 35 находились в процессе строительства и пусконаладочных работ, которые завершились пуском завода в 1959 г. В момент взрыва 29.09.1957 г. персонал на территории завода отсутствовал, однако в дальнейшем весь закрепленный за объектами строящегося завода персонал был включен в состав санотряда и участвовал в работах по ликвидации загрязнения на территории завода.

Средняя зарегистрированная доза облучения персонала за рабочий день в 1957 г. составила 0,24 Р, а за 4-й квартал 1957 г. – 6,5 Р.

Завод 45. В момент взрыва персонал на территории завода отсутствовал. Весь персонал принимал участие в ликвидации последствий аварии. В 1957–1958 гг. на территории завода работал санотряд, в котором, кроме работников завода, работали гражданские и военные

строители. В 1957 г. в связи с превышением предельно допустимых доз из санотряда выведено 52 человека, а в 1958 г. – 108 человек. Средняя зарегистрированная доза за 4-й квартал 1957 г. составила 10,6 Р.

Завод 24. В момент взрыва на заводе работало 42 человека. В зависимости от места нахождения измеренная доза облучения за смену составила от 0,2 до 0,6 Р. Расчетная доза за счет прохода по загрязненной территории составила 0,2–0,3 Р.

Весь персонал завода привлекался к работам по дезактивации помещений, оборудования, территории и зданий. В октябре 1957 г. к работам по дезактивации была привлечена команда ВПЧ-3 в составе 52 человек.

Завод 37. В момент взрыва на заводе работало 62 человека. Зарегистрированная доза за смену составила 0,1 Р. К работам по дезактивации был привлечен весь персонал завода. Расчетная доза за счет выхода с загрязненной территории площадки составила 0,3 Р. Кроме того, весь персонал завода ежесменно пересекал ось следа в обоих направлениях, за счет чего в 4-м квартале 1957 г. доза облучения составила 3,3 Р. Средняя зарегистрированная доза за 4-й квартал 1957 г. составила 2,7 Р.

Завод 22. Поскольку на данной площадке ИДК отсутствовал, анализ облучаемости персонала завода выполнен по расчетным дозам облучения. В момент взрыва на заводе работало 4 человека. Расчетная доза за смену составила от 0,5 до 1,2 Р в зависимости от места работы. К дезактивации помещений и оборудования был привлечен весь персонал завода. Расчетная доза за счет прохода по загрязненной территории составила 0,3 Р. Средняя расчетная доза за 4-й квартал 1957 г. составила 1,8 Р.

Данные, представленные в таблице 5, показывают, что наибольшему облучению при проведении работ по ликвидации последствий аварии 1957 г. подверглись работники заводов 25, 45 и строящегося завода 35. Средние зарегистрированные дозы облучения за 4-й квартал 1957 г. составили от 6 до 10 Р, а максимальные достигали 100 Р. В 1958–1959 гг. наибольшему облучению подверглись работники завода 25, среднегодовые зарегистрированные дозы которых составили 15,8 и 13,5 Р за 1958 и 1959 гг. соответственно при максимальных дозах до 50 Р.

Для работников заводов 24, 37 и 22 значительный вклад в дозу вносило облучение за счет передвижения персонала по загрязненной территории без индивидуальных дозиметров (расчетная доза).

Из персонала основного производства облучению подверглись 3,5 тыс. работников в 1957 г., а в 1958–1959 гг. – по 4,5 тыс. Увеличение численности персонала произошло за счет увеличения штата завода 35, который готовился к пуску, и увеличения штата завода 45.

Общее количество работников основного производства, участвовавших в ликвидации последствий аварии, установить трудно, так как по сравнению с персоналом военных и гражданских строителей, которые менялись по мере накопления доз облучения, основной контингент персонала ПО «Маяк» проработал на своих рабочих местах весь период ликвидации аварии.

Коллективная измеренная доза внешнего облучения работников основных заводов ПО «Маяк» за 1957–1959 гг. составила 94 917 чел.-Р, а коллективная расчетная доза – 7695 чел.-Р, что составляет приблизительно 10% от зарегистрированной дозы. Однако для заводов, удаленных от

эпицентра взрыва (24, 37 и 22), это соотношение составляет 40%.

Вспомогательные подразделения ПО «Маяк»

К работам по ликвидации последствий аварии на промышленной площадке ПО «Маяк» были привлечены практически все вспомогательные подразделения комбината.

Энергоцех (ЭНЦ). Весь ремонтный персонал был занят на обслуживании оборудования и коммуникаций на загрязненной территории. В момент взрыва в различных зданиях на территории следа работали 6 сотрудников ЭНЦ, расчетная доза за смену для них составила от 0,3 до 1,5 Р.

Цех сетей и подстанций (ЦСП). Персонал ЦСП занимался дезактивацией подстанций, обслуживанием и ремонтом воздушных и кабельных сетей, проходящих по территории промплощадки. В момент взрыва на территории следа работали 6 человек из персонала ЦСП, расчетная доза которых составила от 0,01 Р до 0,6 Р.

Центральная заводская лаборатория (ЦЗЛ). Персонал лабораторий и служб был привлечен как к контролю объектов на территории города, так и к контролю территории промышленной площадки между заводами и воинскими частями. Группа работников ЦЗЛ была привлечена к проведению измерений по следу аварии за пределами промышленной площадки и в период переселения жителей из загрязненных районов. В 4-м квартале 1957 г. измеренная доза 394 работников ЦЗЛ составила в среднем 1,6 Р, максимальная доза – 12 Р; в 1958 г. средняя измеренная доза 425 работников составила до 1,5 Р, а максимальная – до 15 Р.

ОКБ КИПиА (завод 40). С целью восстановления технологического контроля персонал ОКБ привлекался к работам по изготовлению и монтажу приборов контроля на оборудовании хранилища радиоактивных отходов завода 25. По результатам измерений доза облучения работников составила: в 4-м квартале 1957 г. максимальная доза 28 человек – до 15 Р; в 1958 г. максимальная доза 35 человек – до 15 Р.

Ремонтно-строительный цех (РСЦ). Персонал РСЦ привлекался к ремонтно-строительным работам, замене остекления в зданиях, закладке окон кирпичом, устройству деревянных мостиков и настилов, побелке и покраске зданий и др.

За 4-й квартал 1957 г. и 1958 г. у 158 работников РСЦ была измерена и зарегистрирована доза облучения, при этом максимальная доза составила 15 Р.

Автохозяство. Работа по перевозке грузов и пассажиров на загрязненной территории промплощадки проводилась силами работников автохозяства, ими обслуживались все механизмы, работавшие на следе аварии. Однако сведения по общему количеству работников автохозяства, привлеченных к ликвидации последствий аварии и их дозам облучения, в архиве ПО «Маяк» не найдены.

Цех связи (АТС). Дежурный и ремонтный персонал АТС участвовал в ликвидации загрязнения оборудования и помещений АТС, а также переносе линий связи в зоне загрязнения. В 1957–1959 гг. на ИДК стояло 58 работников АТС.

В таблице 6 приведены коллективные, средние и максимальные дозы внешнего гамма-излучения работников

вспомогательных подразделений ПО «Маяк» за период с 4-го квартала 1957 г. до конца 1959 г.

Работники вспомогательных подразделений ПО «Маяк» получили дозы облучения при выполнении своих основных обязанностей на загрязненных территориях и объектах промплощадки ПО «Маяк». Коллективная измеренная доза внешнего гамма-излучения персонала вспомогательных подразделений ПО «Маяк» за 4-й квартал 1957, 1958 и 1959 гг. составила 7130 чел.-Р, расчетная доза – 146 чел.-Р.

Военные и гражданские строители

Персонал воинских строительных частей и гражданских строителей в составе санотрядов (районов) привлекался к работам по дезактивации территорий и зданий, а также на отдельных работах внутри зданий. При достижении дозы 25 Р персонал гражданских строителей выводился в чистые условия труда, а военные строители демобилизовались.

Так, в 1957 г. демобилизовано 52 человека из военнослужащих, получивших дозу до 25 Р на заводе 45. В 1958 г. в состав санотрядов ежемесячно привлекалось от 1500

Таблица 6

Коллективные, средние и максимальные дозы облучения персонала вспомогательных подразделений ПО «Маяк» за 1957–1959 гг.

[Table 6]

Collective, average and maximum doses of personnel from auxiliary units "Mayak" PA for 1957–1959]

Подразделение [Department]	4-й квартал 1957 г. [4th quarter 1957]							
	Измеренная доза [Measured dose]				Расчетная доза [Estimated dose]			
	Количество человек [Number of persons]	Коллективная доза, чел.-Р [Collective dose, person-R]	Средняя доза, Р [Mean dose, R]	Макс. доза, Р [Max dose, R]	Количество человек [Number of persons]	Коллективная доза, чел.-Р [Collective dose, person-R]	Средняя доза, Р [Mean dose, R]	Макс. доза, Р [Max dose, R]
Энергоцех [Power department]	149	633	4,2	3,7	135	500	3,7	5,7
ЦСП [Networks and substations]	48	150	3,1	4,6	116	270	2,3	10
ЦЗЛ [Central plant laboratory]	394	636	1,6	12	–	–	–	–
ОКБ КИПиА [Experimental design office]	28	70	2,5	15	–	–	–	–
РСЦ-12 [Repair and con- struction shop]	158	1 000	6,3	15	–	–	–	–
Цех связи [Communication workshop]	58	174	3,0	–	–	–	–	–
Итого: [In total]	835	2663	3,2	–	251	770		
1958 г. [1958]								
Энергоцех [Power department]	141	352	2,5	10,0	135	80	0,6	2,7
ЦСП [Networks and substations]	48	175	3,6	10,0	116	70	0,6	1,1
ЦЗЛ [Central plant laboratory]	425	650	1,5	15,0	–	–	–	–
ОКБ КИПиА [experimental design office]	35	210	6,0	15,0	–	–	–	–

Подразделение [Department]	4-й квартал 1957 г. [4th quarter 1957]							
	Измеренная доза [Measured dose]				Расчетная доза [Estimated dose]			
	Количество человек [Number of persons]	Коллективная доза, чел.-Р [Collective dose, person-R]	Средняя доза, Р [Mean dose, R]	Мак доза, Р [Max dose, R]	Количество человек [Number of persons]	Коллективная доза, чел.-Р [Collective dose, person-R]	Средняя доза, Р [Mean dose, R]	Мак доза, Р [Max dose, R]
РСЦ-12 [Repair and construction shop]	158	1200	8,0	15,0	–	–	–	–
Цех связи [Communication workshop]	58	100	1,7	–	–	–	–	–
Итого: [In total]	865	2687	1,1	–	251	150	–	–
	1959 г. [1959]							
Энергоцех [Power department]	134	330	2,4	8,0	135	176	1,3	1,6
ЦСП [Networks and substations]	47	180	3,8	8,0	116	50	0,4	1,0
ЦЗЛ [Central plant laboratory]	425	450	3,1	12,0	–	–	–	–
ОКБ КИПиА [experimental design office]	35	100	2,9	15,0	–	–	–	–
РСЦ-12 [Repair and construction shop]	158	650	4,1	15,0	–	–	–	–
Цех связи [Communication workshop]	58	70	1,2	–	–	–	–	–
Итого: [In total]	857	1780	–	–	251	226	–	–

до 3000 человек военных и гражданских строителей. При достижении дозы 25 Р ежемесячно выводилось от 200 до 500 человек.

Измеренные при ИДК дозы облучения военных и гражданских строителей в 1957–1959 гг. представлены в таблице 7. Из-за отсутствия данных о времени и месте проведения работ данным контингентом участников ликвидации аварии не представляется возможным рассчитать дозы облучения для случаев, когда ИДК не проводился. Данные таблицы 7 получены на основании обобщенных отчетных сведений за 1957–1959 гг., хранящихся в архиве ПО «Маяк».

Наибольшие дозы облучения, так же, как и работники ПО «Маяк», военные и гражданские строители получили при работах на территории заводов 25, 45, 35. Практически весь персонал санотрядов, в которые входили строительные подразделения, получал дозы, близкие к 25 Р, после чего выводился в чистые условия. Средние

дозы за 1958 г. на этих участках работы составили от 18 до 24 Р, а максимальные дозы достигали 80 Р.

За период с сентября 1957 г. по конец 1959 г. к работам по ликвидации последствий аварии на промплощадке ПО «Маяк» было привлечено около 20 тысяч военных и гражданских строителей, из них 13 704 человек состояли на индивидуальном контроле и имеют зарегистрированные дозы облучения. Коллективная зарегистрированная доза строительных подразделений составила 243 656 чел.-Р.

Охрана территории заводов и технологических зданий

Охрана территории заводов и технологических зданий осуществлялась военнослужащими в/ч 3445. После образования следа радиоактивного загрязнения посты охраны с наиболее загрязненных участков были перенесены на более «чистые» территории.

Данные о дозах облучения военнослужащих в/ч 3445 в 1957–1959 гг. представлены в таблице 8.

Таблица 7

**Дозы облучения военных и гражданских строителей,
принимавших участие в работах по ликвидации последствий аварии 1957 г. на территории промплощадки ПО «Маяк»
в 1957 – 1959 гг.**

[Table 7]

**Radiation doses of military and civil builders,
participated in works of elimination of the consequences of the 1957 accident on the territory of the industrial site “Mayak” PA
in 1957 – 1959]**

Место проведения работ [Place of work]	Измеренная доза [Measured dose]			
	4-й квартал 1957 г. [4th quarter 1957]			
	Количество человек [Number of persons]	Коллективная доза, чел.-Р [Collective dose, person-R]	Средняя доза, Р [Mean dose, R]	Мак доза, Р [Max dose, R]
Завод 25 [Plant 25]	530	6 300	12	45,5
Завод 35 [Plant 35]	781	7 700	9,9	63,0
Завод 45 [Plant 45]	520	8 300	16,0	25,0
Завод 24 [Plant 24]	75	122	1,6	–
Завод 37 [Plant 37]	105	164	1,6	–
Итого: [In total]	2 011	22 586	14,6	–
1958 г. [1958]				
Завод 25 [Plant 25]	9 200	167 750	18,1	32
Завод 35 [Plant 35]	1 500	36 000	24,0	78,0
Завод 45 [Plant 45]	108	2 520	21,0	25,0
Завод 24 [Plant 24]	–	–	–	–
Завод 37 [Plant 37]	–	–	–	–
Итого: [In total]	10 808	206 270	19,1	–
1959 г. [1959]				
Завод 25 [Plant 25]				
Завод 35 [Plant 35]	885	14 800	16,7	32,0
Завод 45 [Plant 45]	–	–	–	–
Завод 24 [Plant 24]	–	–	–	–
Завод 37 [Plant 37]	–	–	–	–
Итого: [In total]	885	14 800	16,7	–

Таблица 8

Дозы облучения военнослужащих в/ч 3445 в 1957–1959 гг.

[Table 8]

Radiation doses of the military personnel of the m/u No. 3445 for 1957–1959]

Показатели [Indicators]	4-й квартал 1957 г. [4th quarter 1957]	1958 г. [1958]	1959 г. [1959]
Количество контролируемых, чел. [Number of monitored persons]	920	1 000	1 000
Коллективная доза, чел.-Р [Collective dose, person-R]	3 290	3 880	1 260
Средняя доза, Р [Mean dose, R]	3,6	3,9	1,3
Максимальная доза, Р [Max dose, R]	12	14	6

Коллективная доза облучения военнослужащих в/ч 3445 за период 1957–1959 гг. составила 8430 чел.-Р без учета доз, полученных во время и в первые часы после аварии.

Вспомогательные организации

Для выполнения отдельных разовых заданий и контролирующих функций на загрязненную территорию привлекались сотрудники следующих организаций: медико-санитарного управления (МСУ), санэпидемслужбы (СЭС), военизированной охраны (ВВО), управления внутренних дел (МВД) и др. Общее количество привлеченного персонала этих организаций могло составлять до 100 человек. Их дозы облучения неизвестны.

Кроме того, на территории промплощадки у проходных заводов 25, 37 и 24 располагались рабочие столовые, обслуживаемые персоналом Управления рабочего снабжения (УРС) ПО «Маяк». Столовые также попали в зону загрязнения с МЭД от 2 до 100 мР/ч. Столовые были закрыты, персонал столовых занимался отмычкой помещений. В момент взрыва на заводе 25 работал буфет.

Обобщенные данные

Обобщенные данные по дозам внешнего облучения персонала при ликвидации последствий аварии 1957 г. на территории промышленной площадки ПО «Маяк» представлены в таблице 9.

Таблица 9

Сводные данные по дозам облучения персонала при выполнении работ по ликвидации последствий аварии 1957 г. на территории промышленной площадки ПО «Маяк» за 1957–1959 гг.

[Table 9]

A summary of personnel doses during works on liquidation of consequences of the 1957 accident in the territory of the industrial site "Mayak" PA for 1957 – 1959]

Подразделения [Departments]	Измеренная доза [Measured dose]			Расчетная доза [Estimated dose]		
	Количество человек [Number of persons]	Коллективная доза, чел.-Р [Collective dose, person-R]	Средняя доза, Р [Mean dose, R]	Количество человек [Number of persons]	Коллективная доза, чел.-Р [Collective dose, person-R]	Средняя доза, Р [Mean dose, R]
4-й квартал 1957 г. [4th quarter 1957]						
Основные заводы ПО «Маяк» [Main plants Mayak PA]	3 549	17 480	8,2	2 588	5820	2,3
Вспомогательные подразделения ПО «Маяк» [Auxiliary units Mayak PA]	835	2 663	3,3	251	770	3,1
Привлеченный персонал военных и гражданских строителей [Involved staff of military and civilian builders]	2 011	22 586	11,2	–	–	–
Военнослужащие охраны в/ч 3445 [Military guard of 3445 unit]	920	3 290	3,6	–	–	–
Итого: [In total]	7 315	46 019	6,3	2 839	6 590	1,7

Подразделения [Departments]	Измеренная доза [Measured dose]			Расчетная доза [Estimated dose]		
	Количество человек [Number of persons]	Коллективная доза, чел.-Р [Collective dose, person-R]	Средняя доза, Р [Mean dose, R]	Количество человек [Number of persons]	Коллективная доза, чел.-Р [Collective dose, person-R]	Средняя доза, Р [Mean dose, R]
Облучение в момент аварии [Exposure at the time of accident]	–	–	–	4 869	457 158	–
Итого за 1957 г.: [In total during 1957]	7 315	46 019	–	7 708	463 748	–
1958 г. [1958]						
Основные заводы ПО «Маяк» [Main plants Mayak PA]	4 476	41 787	9,3	2 639	1 214	0,5
Вспомогательные подразделения ПО «Маяк» [Auxiliary units Mayak PA]	865	2 687	3,1	251	150	0,5
Привлеченный персонал военных и гражданских строителей [Involved staff of military and civilian builders]	10 808	206 270	19,0	–	–	–
Военнослужащие охраны в/ч 3445 [Military guard of 3445 unit]	1 000	3 880	3,9	–	–	–
Итого за 1958 г.: [In total during 1958]	17 149	254 632	14,8	2 890	1 364	0,5
1959 г. [1959]						
Основные заводы ПО «Маяк» [Main plants Mayak PA]	4 345	35 650	8,2	2 497	661	0,3
Вспомогательные подразделения ПО «Маяк» [Auxiliary units Mayak PA]	857	1 780	2,1	251	226	0,9
Привлеченный персонал военных и гражданских строителей [Involved staff of military and civilian builders]	885	14 800	16,7	–	–	–
Военнослужащие охраны в/ч 3445 [Military guard of 3445 unit]	1 000	1 260	1,3	–	–	–
Итого за 1959 г.: [In total during 1959]	7 087	53 490	7,5	2 748	887	–

В статье представлены данные по дозам облучения участников ликвидации последствий аварии и облучившихся в момент взрыва в количестве:

- облученные в момент и первые часы после аварии – 4869 человек;
- персонал основных заводов ПО «Маяк» – 12370 человек;
- персонал вспомогательных подразделений ПО «Маяк» – 2557 человек;
- военные и гражданские строители – 13 704 человек;
- военнослужащие охраны промплощадки и заводов ПО «Маяк» – 2920 человек.

За первые 3 месяца работ по ликвидации последствий аварии сумма коллективной измеренной и расчетной доз облучения ликвидаторов (без учета дозы лиц, облучившихся в первые сутки за счет нахождения на следе радиоактивного облака) составила около 52,5 тыс. чел.-Р или 17,5 тыс. чел.-Р/мес. (около 15% от дозы за весь период ликвидации последствий аварии). За 1958 и 1959 гг. коллективные дозы облучения ликвидаторов составили соответственно 256 тыс. чел.-Р и 54,5 тыс. чел.-Р, или 70% и 15% от дозы за весь период ликвидации последствий аварии, а месячные дозы – 21,3 тыс. чел.-Р/мес. и 4,5 тыс. чел.-Р/мес.

За период 1957–1959 гг. ликвидаторами аварии 1957 г. на промышленной площадке ПО «Маяк» была получена коллективная доза около 363 тыс. чел.-Р, а лицами, облучившимися на следе радиоактивного облака в первые сутки после аварии – 450 тыс. чел.-Р. Дозозатраты персонала ПО «Маяк» составили около 100 тыс. чел.-Р (30% от коллективной дозы ликвидаторов), военных и гражданских строителей – 250 тыс. чел.-Р.

Выводы

Материалы, представленные в статье на основании обобщения и анализа архивных документов, данных журналов радиационной обстановки за 1957–1960 гг., картотеки ИДК и проведенных расчетов, показали следующее:

1. Во время аварии, произошедшей 29 сентября 1957 г. в хранилище жидких радиоактивных отходов завода 25 ПО «Маяк», произошел выброс в атмосферу 740 ПБк (20 МКи) активности. Из них ~74 ПБк (2 МКи) выпало по направлению ветрового движения радиоактивного облака в северо-восточном направлении, образовав ВУРС, а 90% активности осели на территории промышленной площадки ПО «Маяк» в районе эпицентра взрыва.

2. На территории радиоактивного следа, образовавшегося в результате взрыва, оказались производственные здания заводов 25, 45, 35, 24, 22, 37, ВПЧ-3, 10-го лаготделения осужденных, военный городок в/ч 20156, 25529, 3445, а также посты охраны заводов 25, 24, 22, 37. В результате аварии персонал, находившийся на этих объектах, подвергся радиоактивному загрязнению и облучению в момент прохождения радиоактивного облака, а также за счет нахождения на загрязненной территории в первые часы после аварии. Всего облучению подверглись около 5100 человек. Сменный персонал ПО «Маяк» (228 чел.) находился в технологических зданиях, был обеспечен спецодеждой и средствами ИДК, поэтому получил незначительные дозы облучения (до 1,5 Р).

3. Наибольшие дозы внешнего облучения получили 10 военнослужащих в/ч 3445, несших караульную службу по охране заводов 25 и 24, 6 из которых получили дозу по 150 Р, а 4 – по 100 Р. Военнослужащие в/ч 20156 и 25529, находившиеся на отдыхе в военном городке (3845 чел.), получили дозу по 107 Р, в/ч 3445 – по 52 Р (730 чел.) а осужденные 10-го лаготделения (1002 чел.) – по 79 Р. 22 человека, дежурившие в этот день в ВПЧ-3, получили дозу по 27 Р. В связи с отсутствием ИДК эти дозы были рассчитаны по разработанным методикам. Коллективная доза внешнего облучения, полученная во время и в первые часы после аварии данным контингентом лиц, составила ~ 457 тыс. чел.-Р.

4. Дозы внутреннего облучения за время прохождения радиоактивного облака приведены по данным работы [27]. Наибольшие дозы получили военнослужащие, находившиеся в военном городке, и осужденные 10-го лаготделения. Дозы на легкие составили 53 сЗв, на ЖКТ – 10 сЗв и костную ткань – 23 сЗв. У работников заводов, находившихся в производственных зданиях, дозы внутреннего облучения были значительно меньше доз внешнего облучения.

5. Мощность экспозиционной дозы гамма-излучения (МЭД) на следе радиоактивного загрязнения на 30.09.1957 г. составила: район комплекса хранилищ радиоактивных отходов – 360–1000 Р/ч, территория во-

енного городка и лагеря осужденных – 15–18 Р/ч, завода 24 – до 18 Р/ч, завода 22 – 1,5 Р/ч, завода 37 – 1,4 Р/ч. Проведенный комплекс мероприятий (отсыпка чистым грунтом, снятие загрязненного грунта и т.п.) позволили к 30.03.1958 г. снизить МЭД в районе комплекса хранилищ в 500 раз. Работы по дезактивации территорий промплощадки были закончены к концу 1959 г. К этому времени МЭД гамма-излучения в районе комплекса хранилищ радиоактивных отходов завода 25 в основном не превышала 20 мР/ч, а на рабочих местах – 1 мР/ч.

6. Персонал, принимавший участие в ликвидации последствий аварии, подвергался внешнему и внутреннему облучению за счет нахождения на загрязненной территории. Так как при проведении работ широко применялись средства индивидуальной защиты органов дыхания (респиратор ШБ-1 «Лепесток», противогазы), дозы внутреннего облучения, по данным работы [27], были значительно меньше доз внешнего облучения и далее не учитывались.

7. Всего в работах по ликвидации последствий аварии в 1957–1959 гг. на территории промышленной площадки ПО «Маяк» приняли участие 38,5 тыс. человек, включая лиц, облученных непосредственно в момент аварии, а также работников ПО «Маяк», военных и гражданских строителей. Из лиц, участвовавших в ликвидации последствий аварии, дозу облучения от 25 до 30 Р получили около 10,5 тыс. человек, при этом имелись случаи облучения в дозах до 100 Р.

8. Коллективная доза, полученная во время аварии и при ликвидации ее последствий, составила ~ 820 тыс. чел.-Р. За три месяца 1957 г. коллективная доза составила около 500 тыс. чел.-Р, большая часть из которой (около 450 тыс. чел.-Р) получена военнослужащими и заключенными 10-го лаготделения в момент и первые часы после аварии. Коллективные дозы, зарегистрированные в 1958 и 1959 гг., составили 250 тыс. чел.-Р и 54 тыс. чел.-Р соответственно. Основные дозозатраты легли на привлеченных к ликвидации последствий аварии военных и гражданских строителей (250 тыс. чел.-Р) и персонал ПО «Маяк» (100 тыс. чел.-Р).

Благодаря продуманной организации работ, поддержанию доз облучения участников ликвидации аварии на возможно низких уровнях, применению средств индивидуальной защиты, за время работы при больших уровнях мощностей доз и высокой загрязненности поверхностей среди ликвидаторов, охваченных медицинским наблюдением на территории г. Озерска, было зарегистрировано всего несколько случаев хронической лучевой болезни.

Не останавливая работу производства, основные работы по дезактивации зданий и территорий на промплощадке ПО «Маяк» были закончены к концу 1959 г.

Благодарность

Выражаем сердечную благодарность старейшим работникам службы дозиметрии ПО «Маяк», принимавшим непосредственное участие в ликвидации последствий аварии 1957 г.: А.Ф. Лызлову, Э.С. Котову, Е.И. Андрееву, В.И. Синицыну, Л.А. Думенку, а также работникам Филиала №1 Института биофизики (ФИБ-1) под руководством Э.Р. Любчанского за неоценимый вклад в обработку материалов архивных документов, использованных в данной статье.

Литература

1. Никипелов, Б.В. Кыштымская авария крупным планом / Б.В. Никипелов, Е.Г. Дрожко, Г.Н. Романов // Природа. – 1990. – №5. – С. 47-75.
2. Романов, Г.Н. Кыштымская авария: секреты и мифы (западный анализ аварии 1957 г.) / Г.Н. Романов // Вопросы радиационной безопасности. – 1997. – №3. – С. 63-71.
3. Алексахин, Р.М. Крупные радиационные аварии: последствия и защитные меры / Р.М. Алексахин, Л.А. Булдаков, В.А. Губанов, Е.Г. Дрожко, Л.А. Ильин [и др.]; под редакцией Л.А. Ильина и В.А. Губанова – М.: ИздАТ, 2001. – 752 с.
4. Акт комиссии по расследованию причин взрыва в хранилище радиоактивных отходов комбината 817 (председатель Славский Е.П.) от 03.10.57. – Архив ПО «Маяк», ф.1, оп.30, ед.70.
5. Первоочередные мероприятия по обеспечению безопасной работы комплексов 120/2, 3, 4, утвержденные Зверевым А.Д. 23.10.1957. – Архив ПО «Маяк», ф.5, оп.23, ед.11.
6. Акт комиссии МСМ от 25.11.1957 о расследовании причин взрыва на комбинате 817. – Архив ПО «Маяк», ф.1, оп.30, ед.75.
7. Андреев, Е.И. Организация работ и дозиметрический контроль во время ликвидации последствий аварии 29.09.57 на объекте 25 / Е.И. Андреев, В.Ф. Хайдуков – 1960. – Архив ПО «Маяк», ф.5, оп.28, ед.157.
8. Лызлов, А.Ф. Радиационные последствия аварии 1957 года в пределах промышленной площадки ПО «Маяк» / А.Ф. Лызлов, Е.К. Василенко, Л.А. Думенек // Отчет 15-1154 (с Приложениями), Утв. А.П. Суловым 03.01.1992. – Архив ПО «Маяк». – 36 с., Приложение 19 с.
9. Сводный отчет. Радиоактивное загрязнение районов, прилегающих к комбинату 817, в результате аварийного выброса и ликвидация последствий этого выброса. – Центральная заводская лаборатория. – Архив ПО «Маяк», октябрь 1958, ф.11, оп.30, ед.844.
10. Отчет отдела ТБ комбината 817 за 2-е полугодие 1957 года. – Архив ПО «Маяк», ф.1, оп.30, ед.17.
11. Дело отдела ТБ завода 24 за 1957 год. – Архив ПО «Маяк», ф.4, оп.13, ед.19.
12. Отчет отдела ТБ завода 35 за 1958 год. – Архив ПО «Маяк», ф.6, оп.2, ед.33.
13. Отчет отдела ТБ завода 22 за 1958 год. – Архив ПО «Маяк», ф.3, оп.5, ед.6.
14. Отчет отдела ТБ завода 24 за 1958 год. – Архив ПО «Маяк», ф.4, оп.13, ед.25.
15. Отчет отдела ТБ завода 25 за 1958 год. – Архив ПО «Маяк», ф.5, оп.24, ед.21.
16. Отчет отдела ТБ комбината 817 за 1957 год. – Архив ПО «Маяк», ф.1, оп.28, ед.18.
17. Дело отдела ТБ завода 24 за 1959 год. – Архив ПО «Маяк», ф.4, оп.14, ед.2.
18. Дело отдела ТБ завода 35 за 1959 год. – Архив ПО «Маяк», ф.6, оп.2, ед.35.
19. Отчет отдела ТБ комбината 817 за 2-е полугодие 1958 года. – Архив ПО «Маяк», ф.1, оп.30, ед.99.
20. Дело отдела ТБ завода 37 за 1958-60 гг. – Архив ПО «Маяк», ф.7, оп.8, ед.166.
21. Отчет отдела ТБ завода 45 за 1958-60 гг. – Архив ПО «Маяк», ф.1, оп.6, ед.11.
22. Отчет отдела ТБ завода 25 за 2-е полугодие 1958 года. – Архив ПО «Маяк», ф.5, оп.25, ед.6.
23. Отчет отдела ТБ завода 25 за 1959 год. – Архив ПО «Маяк», ф.5, оп.26, ед.1.
24. Толстиков, В.С. Южно-Уральская радиационная авария 1957 года: правда и домыслы / В.С. Толстиков, В.Н. Кузнецов // Информационно-просветительская газета «Время». – Екатеринбург, 2017. – №8(32). – 31 августа. – С. 1-16.
25. Панфилов, А.П. Эволюция системы обеспечения радиационной безопасности атомной отрасли страны и ее современное состояние / А.П. Панфилов // АНРИ. – 2016. – №1. – С. 2-14.
26. Любчанский, Э.Р. Вклад Южно-Уральского института биофизики в ликвидацию и преодоление последствий аварии в 1957 году на ПО «Маяк» / Э.Р. Любчанский, С.А. Романов // Охрана природы Южного Урала. Спецвыпуск, посвященный 50-летию аварии 1957 года на ПО «Маяк». – 2007. – С. 45-49.
27. Антропова, З.Г. Итоги изучения и опыт ликвидации последствий аварийного загрязнения территории продуктами деления урана / З.Г. Антропова, Е.И. Белова, И.К. Дибобес [и др.]; под редакцией А.И. Бурназяна. – М.: Атомэнергоиздат, 1990. – 234 с.
28. Василенко, Е.К. Дозиметрия внешнего облучения работников ПО «Маяк»: приборы, методы, результаты контроля. Источники и эффекты облучения работников ПО «Маяк» и населения, проживающего в зоне влияния предприятия // Под редакцией М.Ф. Киселева, С.А. Романова. – Федеральное медико-биологическое агентство, Южно-Уральский ин-т биофизики. – Озерск, 2009. – Ч.1. – С. 51-100.

Поступила: 13.05.2019 г.

Василенко Евгений Константинович – ведущий научный сотрудник Южно-Уральского регионального аварийного медико-дозиметрического центра Южно-Уральского института биофизики, член РНКРЗ. **Адрес для переписки:** 456780, г. Озерск, Челябинская область, Озерское шоссе, 19, E-mail: vasilenko@subi.su

Аладова Елена Евгеньевна – руководитель группы, старший научный сотрудник Южно-Уральского регионального аварийного медико-дозиметрического центра Южно-Уральского института биофизики, кандидат биологических наук, Озерск, Россия

Горелов Михаил Васильевич – руководитель службы радиационной безопасности ПО «Маяк», Озерск, Россия

Князев Валерий Альбертович – инженер-физик отдела радиационной безопасности ПО «Маяк», Озерск, Россия

Колупаев Дмитрий Никифорович – главный инженер ПО «Маяк», кандидат технических наук, Озерск, Россия

Романов Сергей Анатольевич – директор Южно-Уральского института биофизики, кандидат биологических наук, член РНКРЗ, член НКДАР ООН, член МКРЗ, Озерск, Россия

Для цитирования: Василенко Е.К., Аладова Е.Е., Горелов М.В., Князев В.А., Колупаев Д.Н., Романов С.А. Авария 1957 года: радиационная обстановка и дозы облучения участников ликвидации аварии на территории промышленной площадки ПО «Маяк» // Радиационная гигиена. – 2019. – Т. 12, № 2 (Спецвыпуск). – С. 31-49. DOI: 10.21514/1998-426X-2019-10-2s-31-49.

The 1957 accident: radiological situation and radiation doses of participants in the liquidation of the accident on the territory of PA “Mayak” industrial site

Evgeny K. Vasilenko¹, Elena E. Aladova¹, Mikhail V. Gorelov², Valery A. Knyazev², Dmitry V. Kolupaev², Sergey A. Romanov¹

¹ Southern Urals Biophysics Institute, Federal Medical-Biological Agency of Russia, Ozersk, Russia

² Production Association “Mayak” Rosatom, Ozersk, Russia

Purpose: to assess the radiation situation on the industrial site of the PA “Mayak” during the accident in 1957 and the radiation doses of the participants in the liquidation of consequences of this accident. Materials and methods: on the basis of the archival documents analysis, radiation situation data for 1957 – 1960, IDC data and calculated doses of the Mayak workers, as well as supporting organizations personnel and military units involved in the liquidation of the accident consequences and covered by individual monitoring are presented. Results: in 1957 – 1959 about 38,5 thousand people took part in the works on the territory of the PA “Mayak” industrial site for liquidation of consequences of the accident, including persons exposed at the time of the accident: employees of “Mayak”, military and civil builders. Radiation doses from 25 to 30 R received about 10,5 thousand people, while there were single cases of exposure in doses up to 100 R. Conclusion: the collective dose received during the accident and liquidation of its consequences in 1957 was about 820 000 person-R. Collective doses recorded in 1958 and 1959 amounted to 250 000 person-R and 54 000 person-R, respectively.

Key words: radiation accident, area of radioactive contamination, radiation dose, decontamination, exposure dose rate, devices for dosimetric control, measures to eliminate the consequences of the accident.

References

1. Nikipelov B.V., Drozhko E.G., Romanov G.N. Kyshtym accident close-up. Priroda = Nature, 1990; 5:47-75 (in Russian)
2. Romanov G.N. Kyshtym accident: secrets and myths (western analysis of the accident in 1957) Voprosy radiatsionnoi bezopasnosti = Radiation safety issues, 1997; 3: 63-71 (in Russian)
3. Aleksakhin R.M., Buldakov L.A., Gubanov V.A., Drozhko E.G., Ilyin L.A. Great radiation accidents: consequences and protective measures. Moscow, Izdat, 2001, 752 p. (in Russian)
4. Act of the Commission to investigate the causes of the explosion in the radioactive waste storage plant 817 (chairman Slavsky E.P.) 03.10.57: Archive of Mayak PA; fund 1, inventory 30, unit 70 (in Russian).
5. Priority actions for ensuring safe operation of complexes 120/2, 3, 4, approved by Zverev A.D. 23.10.1957. Archive of Mayak PA, fund 5, inventory 23, unit 11 (in Russian).
6. The Commission act MSM 25.11.1957 on the investigation into the cause of the explosion at the plant 817. Archive of Mayak PA, fund 1, inventory 30, unit 75 (in Russian).
7. Andreev E.I., Khaydukov V.F. Organization of works and dosimetric control during liquidation of consequences of accident 29.09.57 on object 25: 1960; Archive of Mayak PA, fund 5, inventory 28, unit 157 (in Russian).
8. Lyzlov A.F., Vasilenko E.K., Dumenev L.A. Radiation consequences of the accident in 1957 within the industrial site «Mayak»: 03.01.1992; Archive of Mayak PA (in Russian).
9. Radioactive contamination of areas neighbouring the plant 817, as a result of accidental release and elimination of the consequences of this release: October 1958; Central factory laboratory; Archive of Mayak PA, fund 11, inventory 30, unit 844 (in Russian).
10. Report of the occupational safety department of the plant 817 for the 2nd half of 1957. Archive of Mayak PA, fund 1, inventory 30, unit 15 (in Russian).
11. Report of the occupational safety department of the plant 24 for 1957. Archive of Mayak PA, fund 4, inventory 13, unit 19 (in Russian).
12. Report of the occupational safety department of the plant 35 for 1958. Archive of Mayak PA, fund 6, inventory 2, unit 33 (in Russian).
13. Report of the occupational safety department of the plant 22 for 1958. Archive of Mayak PA, fund 3, inventory 5, unit 6 (in Russian).
14. Report of the occupational safety department of the plant 24 for 1958. Archive of Mayak PA, fund 4, inventory 13, unit 25 (in Russian).
15. Report of the occupational safety department of the plant 25 for 1958. Archive of Mayak PA, fund 5, inventory 24, unit 21 (in Russian).
16. Report of the occupational safety department of the plant 817 for 1957. Archive of Mayak PA, fund 1, inventory 28, unit 18 (in Russian).
17. Report of the occupational safety department of the plant 24 for 1959. Archive of Mayak PA, fund 4, inventory 14, unit 2 (in Russian).
18. Report of the occupational safety department of the plant 35 for 1959. Archive of Mayak PA, fund 6, inventory 2, unit 35 (in Russian).
19. Report of the occupational safety department of the plant 817 for the 2nd half of 1958. Archive of Mayak PA, fund 1, inventory 30, unit 99 (in Russian).
20. Report of the occupational safety department of the plant 37 for the period 1958-1960. Archive of Mayak PA, fund 7, inventory 8, unit 166 (in Russian).
21. Report of the occupational safety department of the plant 45 for 1959. Archive of Mayak PA, fund 6, inventory 2, unit 35 (in Russian).
22. Report of the occupational safety department of the plant 25 for the 2nd half of 1958. Archive of Mayak PA, fund 5, inventory 35, unit 6 (in Russian).

Evgeny K. Vasilenko

Southern Urals Biophysics Institute

Address for correspondence: Ozersk highway, 19, Ozersk, Chelyabinsk region, 456780, Russia; E-mail: vasilenko@subi.su

23. Report of the occupational safety department of the plant 25 for 1959. Archive of Mayak PA, fund 5, inventory 26, unit 1 (in Russian).
24. Tolstikov V. S., Kuznetsov V.N. South Ural radiation accident of 1957: truth and speculation. Informatsionno-prosvetitel'skaya gazeta «Vremya» = Information-educational newspaper «Vremya». 2017; 8: 1-16 (in Russian).
25. Panfilov A.P. Evolution of the system of the provision of the radiation safety of the nuclear sector of the country and its current state. ANRI = ANRI, 2016; 1: 2-14 (in Russian).
26. Lubchansky E.R., Romanov S.A. Contribution of the South-Ural institute of biophysics into the liquidation and negotiation of the consequences of the accident on PO «Mayak» in 1957. Okhrana prirody Yughnogo Urala = Environmental protection of the South Ural, 2007; Spetsvypusk: 45-49 (in Russian).
27. Antropova Z.G., Belova E.I., Dibobes I.K. Results of the study and experience in eliminating the consequences of accidental contamination of the territory by uranium fission products. Under edition of Burnazyan A.I. Moscow, Atomizdat, 1990, 234 p. (in Russian).
28. Vasilenko E.K. Dosimetry of external radiation of «Mayak» PA workers: devices, methods, results of monitoring. Sources and effects of exposure of «Mayak» PA workers and the population living in the area of the enterprise influence. Southern Urals Biophysics Institute. Ozersk, 2009, part 1. (in Russian).

Received: May 13, 2019

For correspondence: Evgeny K. Vasilenko – Leading scientist, South-Ural regional emergency medical-dosimetry center of South-Ural institute of biophysics (SURAMDC SUIBF), member of RNCRP (Ozersk highway, 19, Ozersk, Chelyabinsk region, 456780, Russia; E-mail: vasilenko@subi.su)

Elena E. Aladova – Head of the department, senior scientist, South-Ural regional emergency medical-dosimetry center of South-Ural institute of biophysics (SURAMDC SUIBF), PhD, Ozersk, Russia

Mikhail V. Gorelov – Head of the radiation protection service of PO «Mayak», Ozersk, Russia

Valery A. Knyazev – Engineer-physicist, radiation protection service of PO «Mayak», Ozersk, Russia

Dmitry V. Kolupaev – Chief engineer, PO «Mayak», candidate of technical sciences, Ozersk, Russia

Sergey A. Romanov – Director of South-Ural institute of Biophysics, PhD, member of RNCRP, member of UNSCEAR, member of ICRP, Ozersk, Russia

For citation: Vasilenko E.K., Aladova E.E., Gorelov M.V., Knyazev V.A., Kolupaev D.V., Romanov S.A. The 1957 accident: radiological situation and radiation doses of participants in the liquidation of the accident on the territory of PA «Mayak» industrial site. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene, 2019, Vol. 12, No. 2 (special issue), pp. 31-49. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426x-2019-12-2s-31-49.

Содержание изотопов ^{210}Po и ^{210}Pb в воде искусственного озера г. Истиклола Республики Таджикистан и их бионакопление в организме рыб

В.М. Миряхьяев¹, Х.И. Тиллобоев², Х.М. Назаров¹, М.М. Махмудова³, У.М. Мирсаидов¹

¹Агентство по ядерной и радиационной безопасности Академии наук Республики Таджикистан, Душанбе, Таджикистан

²Худжандский государственный университет им. Б. Гафурова, Худжанд, Таджикистан

³Таджикский государственный медицинский университет им. Абуали ибн Сино, Душанбе, Таджикистан

Приведены результаты мониторинга изотопов ^{210}Po и ^{210}Pb в воде искусственного озера (бывший урановый карьер) г. Истиклола Республики Таджикистан и их бионакопление. Рыбы, обитающие в данном водоёме, частично используются в рационе жителей в качестве пищи. Определено, что уровень изотопа ^{210}Po в печени обитающих в озере рыб, в частности карасей, были сравнительно высоки. Установлено, что годовая эффективная доза облучения от гамма-излучения и активности изотопов в воде для человека в г. Истиклоле превышает рекомендованный годовой уровень пороговой дозы (10 мЗв).

Ключевые слова: изотоп, урансодержащая руда, озеро, рыба, спектр, бионакопление, активность.

Введение

Ранее в работах [1, 2] были даны оценки потенциальной радиационной опасности бывших урановых объектов Республики Таджикистан, в том числе и г. Истиклола. Как известно, добыча урана является наиболее опасным производством. При получении концентрата урана из руд наблюдается попадание радионуклидов в воздух, воду, почву и растения. Особое внимание уделяется наиболее опасным продуктам распада – ^{210}Pb , ^{210}Po , ^{226}Ra .

Цель исследования – получение научной информации об удельной активности и о природе радиоактивных изотопов ^{210}Po и ^{210}Pb , основанной на анализе воды водоёма (бывшего уранового карьера) г. Истиклола Республики Таджикистан, путём проведения исследований внутренних органов рыб, обитающих в указанном водоёме.

Искусственное озеро было образовано в результате извлечения урановой руды открытым способом. В результате образовался карьер длиной около 1200 м, шириной 1000 м и глубиной около 120 м, который затоплен водой на 60 м. В течение года, в зависимости от сезона, ожидается незначительное нарушение кислородного баланса воды. Небольшой ручей является единственным выходом из озера (через штольню), сохраняя уровень воды примерно постоянным. В озере обитают отдельные виды рыб.

Методы отбора проб и исследования

Из искусственного озера отобраны пробы воды и рыб (объект исследования), а также для сравнения были ото-

браны пробы воды и рыб из Кайраккумского водохранилища (г. Гулистон Республики Таджикистан) для сравнительного анализа. Все пробы отбирали в течение дня, образцы охлаждались, а затем замораживались для длительного хранения до доставки в изотопную лабораторию для дальнейших исследований.

Анализ проб воды производился путём фракционирования и разделения коллоидных частиц по размеру (молекулярная масса). Процесс фракционирования был сделан с помощью мембранного фильтра «Millipore» (смешанного со сложным эфиром целлюлозы) с отсечкой в 0,45 мкм и ультрафильтрами «Майкон», «Hollowfibre», имеющий отсечку на 10 кДа. Фильтр с диаметром пор до 0,45 мкм и мембраной с отсечки на 1–10 кДа, который обеспечивает удержание частиц размером более 0,45 мкм и коллоидных частиц (0,45 мкм > x > 10 кДа). Ионное фракционирование было сделано с помощью ионообменной хроматографии ультрафильтрованного образца. Процесс катионного обмена произведён с помощью смолы «Bio-RadChelex 100». После фракционирования все пробы воды были подкислены соляной кислотой (HCl – 1%) и хранились до проведения лабораторного анализа. Полевая работа была проведена совместно со специалистами Норвежского университета естественных наук.

Общий состав органических веществ, который основан на присутствии анионов, определялся с помощью стационарной аппаратуры «Iscat C 5000» с ионным хроматографом.

Концентрация общего органического углерода (ООУ) в воде участка исследований составляла 2,2 мг/л и находится в том же диапазоне, что и в олиготрофных озёрах.

Назаров Холмурод Марипович

Агентство по ядерной и радиационной безопасности Академии наук Республики Таджикистан

Адрес для переписки: 735730, Таджикистан, г. Бустон, ул. Опанчук, 1а; E-mail: holmurod18@mail.ru

Удельная активность изотопа ^{210}Po в пробах воды из озера до и после размерного фракционирования (молекулярная масса) и заряда фракционирования, рассчитывали одновременно. Суммарная удельная активность изотопа ^{210}Po в озере составляла 5,6–0,7 мБк/л (табл.1).

Согласно данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ, 2011), изотоп ^{210}Po в питьевой воде должен находиться на уровне 0,1 Бк/л. В этом отношении удельная активность изотопа ^{210}Po находится значительно ниже предельно допустимых норм для питьевой воды.

Процентное распределение изотопа ^{210}Po , Мп и ООУ представлено на рисунке 1. Основная удельная активность изотопа ^{210}Po до > 10 кДа, а распределение частиц и коллоидов колеблется от 11 до 60%, соответственно. Фракция с низкой молекулярной массой (НММ) изотопа ^{210}Po составила 28%, катионы крупной молекулярной массы составляют 62%.

Рыбы из участка исследований (n=13) и участка сравнения (n=3) были анализированы одновременно (n=16). Рыбы для анализа из Кайраккумского водохранилища (г. Гулистон) и г. Истиклол были получены в основном от местных рыболовов. Рыбы были тщательно исследованы (измеряли длину и вес). Процедура расчленения на отдельные органы и ткани была произведена сразу же после отбора. Пробы отдельно упаковывали в алюминиевую фольгу, затем хранили при температуре 20°C, до отправления в Норвежский университет естественных наук, и выдерживали при этой температуре для дальнейших

исследований. Для определения возраста и видов рыб были использованы общепринятые методы, а исследование органов рыб было осуществлено в соответствии с описанным методом [3].

Содержание изотопа ^{210}Po во всех образцах определяли с помощью метода альфа-спектрометрии. Удельную активность изотопа ^{210}Po определяли после 6 месяцев, когда изотопы ^{210}Po и ^{210}Pb были в состоянии равновесия. Спектры были получены с помощью спектрометра «Genie PC Канберра 2000» с программным обеспечением. Образцы подсчитывали в течение 72 ч, и ошибки составили ниже 10%. В результате анализа были обнаружены изотопы ^{210}Po и ^{210}Pb в костях (в основном позвоночник), печени (всей) и мышцах (части). Все органы исследованных рыб проанализированы отдельно для сравнения.

Пробы рыб проанализированы с возрастным классом от 2 до 8 лет. Эти данные могут быть использованы для описания модели роста видов рыб и уровней загрязнения радиоизотопами в водоёмах. Нижняя часть тела у рыб всех особей *Carrasius auratus*, *Cyprinus carpio* и *Sander lucioperca* была белой, что является типичным для всех видов. По стадии зрелости особей *Carrasius auratus* изученные рыбы представляли собой незрелую группу вида. У особей уровень роста оказался линейным, с увеличением длины и увеличением размеров тела и отсутствием стагнации роста тела с течением времени (рис. 2).

Удельная активность во фракциях изотопа ^{210}Po (мБк/л) в пробах воды

Таблица 1

[Table 1

Specific activity in ^{210}Po isotope fractions (mBq/l) in water samples]

№ [No.]	Образцы воды [Water samples]	Удельная активность в пробе воды [Specific activity in a Water Sample]	Расчётная активность во фракции [Estimated activity in a Fraction]
1	Общий [Overall]	5,6 – 0,7	Частиц 0.6 [Particles 0.6]
2	0,45 мм [0.45 mm]	5,0 – 0,5	Коллоидный 3.4 [Colloid 3.4]
3	10 кДа [10 kDa]	1,6 – 0,4	НММ 1.6 [LMM 1.6]
4	кДа обмен ионов [kDa ion exchange]	1,0 – 0,2	Катионы 1.0 [Cations 1.0]

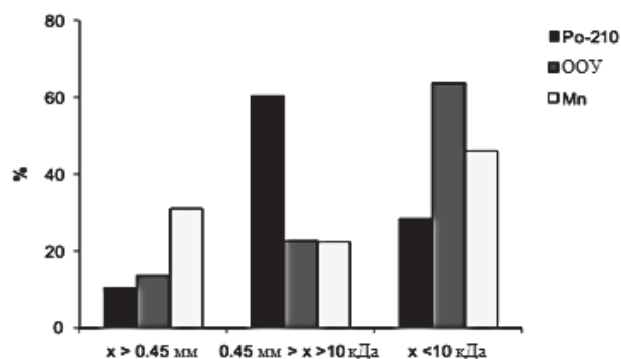


Рис. 1. Процентное распределение ^{210}Po , ООУ и Мп на разных отсечках по размеру в озере

[Fig 1. The percentage distribution of ^{210}Po , TOC and Mn at different cutoff on size in the Lake]

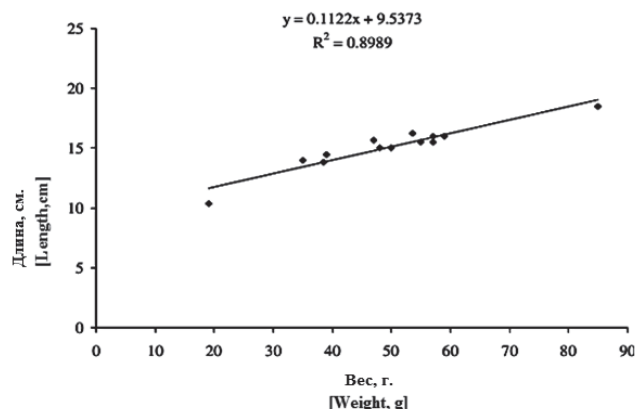


Рис. 2. Соотношение между длиной и весом особей *Carrasius auratus* в озере г. Истиклола

[Fig 2. The ratio between the length and weight of specimens of *Carrasius auratus* in the lake of Istiklol city]

Представлены возрастные группы от 2 до 8 лет со средним возрастом 5 и 6 лет, из которых более > 80% составляли самки. Непрерывный рост рыбы зависит от ряда факторов, в том числе доступности и обилия пищи. Это связано непосредственно с численностью вида, так как рост в малом количестве особей в озере намного лучше, чем если озеро перенаселено или частично перенаселено. Средняя удельная активность изотопов ^{210}Pb и ^{210}Po в печени, костях и мышцах от всех видов рыб представлены в таблице 2.

Удельная активность изотопа ^{210}Po в печени была больше, чем в костях и мышцах. Это наблюдение считается эффективным, и значения суммарной удельной активности у рыб достигают до 592 Бк/кг. Кроме того, большинство особей имели удельную активность более 3000 Бк/кг. Удельная активность в печени, мышцах и костях карпов существенно отличается друг от друга. Сравнения показало, что удельная активность изотопа ^{210}Po в печени рыб из озера меньше, чем в образцах рыб из водохранилища Кайраккум. Тем не менее, удельная активность немного выше в костях, чем в мышцах.

Заключение

Таким образом, уровни изотопа ^{210}Po в мышцах карпов в озере были сравнительно высоки. Использование в качестве пищи 1,5 кг рыбы в месяц (50 г в день) с изотопом ^{210}Po и удельной активности 400 Бк/кг превысит норму и внесёт свой вклад до 8 мЗв/г в годовую эффективную дозу. Группы риска, такие как беременные женщины и дети, не должны употреблять рыбу из водоёма

г. Истиклол. Кроме того, она не рекомендуется для населения в целом.

Концентрации воды с изотопами ^{210}Po и ^{210}Pb не были приняты в рассмотрение для оценки доз из-за очень низких концентраций обоих радионуклидов в пробах воды, и предположительно их добавление через питьевую воду будет иметь второстепенное значение.

Авторы выражают благодарность профессору Б.Салбу и сотрудникам Норвежского института водных исследований за ценные советы и помощь при проведении необходимых анализов.

Литература

1. Назаров, Х.М. Оценка потенциальной радиационной опасности бывших урановых объектов для населения г. Истиклола Республики Таджикистан / Х.М. Назаров, К.А. Эрматов, Д.А. Саломов, С.М. Бахронов, У.М. Мирсаидов // Радиационная гигиена. – 2018. – Т.11, №2. – С. 83-90.
2. Назаров, Х.М. Оценка потенциальной радиационной опасности хвостохранилища Дигмай (Таджикистан) для населения, проживающего вокруг него / Х.М. Назаров, К.А. Эрматов, С.М. Бахронов, С.Г. Мухамедова, У.М. Мирсаидов // Радиационная гигиена. – 2019. – Т.12, №1. – С. 115-121.
3. Салбу, Б. Видообразование, из задач в рамках оценки воздействия на окружающую среду и риска / Б. Салбу // Журнал экологической безопасности. – 2007. – (1.3). – С. 47-53.

Поступила: 08.04.2019 г.

Таблица 2

Средняя удельная активность изотопов ^{210}Pb и ^{210}Po в печени, в костях и мышцах рыб из искусственного озера г. Истиклола

[Table 2]

The average specific activity of ^{210}Pb and ^{210}Po isotopes in the liver, in bones and muscles of fish from the artificial lake of Istiklol city

Виды (ткань) [Species(tissue)]	^{210}Po			^{210}Pb		
	Значение, Бк/кг [Value, Bq/kg]			Значение, Бк/кг [Value, Bq/kg]		
	мин. [min]	макс. [max]	среднее [mean]	мин. [min]	макс. [max]	среднее [mean]
Карась (п) [Caras (l)]	593	9380	3950	25	327	94
Карась (к) [Caras (b)]	265	1390	700	22	185	100
Карась (м) [Caras (m)]	128	1280	410	–	–	нм [nm]

п – печень, к – кости, м – мышцы, нм – не измерялся.
[l – liver, b – bone, m – muscle, nm – not measured.]

Миряхъяев Валичон Миркурбонович – ведущий инженер Филиала агентства по ядерной и радиационной безопасности Академии наук Республики Таджикистан, Душанбе, Таджикистан

Тиллобоев Хакимджон Ибрагимович – заведующий кафедрой органической и прикладной химии Худжандского государственного университета им. Б.Гафурова, Худжанд, Таджикистан

Назаров Холмурод Марипович – главный научный сотрудник Филиала по ядерной и радиационной безопасности АН Республики Таджикистан в Согдийской области. Адрес для переписки: 735730, г. Бустон, ул. Опланчук, 1а, E-mail: holmurod18@mail.ru

Махмудова Манижа Махкамовна – ассистент кафедры детских болезней Таджикского государственного медицинского университета им. Абуали ибн Сино, Душанбе, Таджикистан

Мирсаидов Ульмас Мирсаидович – главный научный сотрудник Агентства по ядерной и радиационной безопасности Академии наук Республики Таджикистан, Душанбе, Таджикистан

Для цитирования: Миряхьяев В.М., Тиллобоев Х.И., Назаров Х.М., Махмудова М.М., Мирсаидов У.М. Содержание изотопов ^{210}Po и ^{210}Pb в воде искусственного озера г. Истиклола Республики Таджикистан и их бионакопление в организме рыб // Радиационная гигиена. – 2019. – Т. 12, № 2 (Спецвыпуск). – С. 50-53. DOI: 10.21514/1998-426X-2019-10-2s-50-53.

^{210}Po and ^{210}Pb Isotopes Content in the Water of Artificial Lake of Istiklol City of the Republic of Tajikistan and their Bioaccumulation in the Fish

Validzhon M. Miryakhyaev¹, Khakimdzhon I. Tilloboev², Kholmurod M. Nazarov¹,
Manizha M. Makhmudova³, Ulmas M. Mirsaidov¹

¹Nuclear and Radiation Safety Agency of the Academy of sciences of the Republic of Tajikistan, Dushanbe, Tajikistan

²B. Gafurov Khujand State University, Khujand, Tajikistan

³Abualilbn Sino Tajik State Medical University, Dushanbe, Tajikistan

The results of monitoring of ^{210}Po and ^{210}Pb isotopes in water of artificial lake (former uranium mine) of Istiklol city of the Republic of Tajikistan and their bio-accumulation are given. Fish living in this area is using as a food by local population. It has been found that the level of ^{210}Po isotope in the liver of fish, in particular of caras fish, was relatively high. It has been defined that the annual effective radiation dose from gamma radiation and isotopic activity in water for human in the Istiklolcity exceeds the recommended annual threshold dose level (10 mSv).

Key words: isotope, uranium-bearing ores, lake, fish, spectrum, bioaccumulation, activity.

References

1. Nazarov Kh.M., Ermatov K.A., Salomov D.A., Bahronov S.M., Mirsaidov U.M. Assessment of potential radiological hazards of former uranium objects to population in the Istiklol city of Republic of Tajikistan. Radiatsionnaya gygiena = Radiation hygiene, 2018, Vol.11, No.2, pp. 83-90. (In Russian)
2. Nazarov Kh.M., Ermatov K.A., Bahronov S.M., Mukhamedova S.G., Mirsaidov U.M. Assessment of potential radiological hazards of Degmay waste disposal site (Tajikistan) to population, dwelling around it. Radiatsionnaya gygiena = Radiation hygiene, 2019, Vol.12, No.1, pp. 115-121. (In Russian)
3. Salbu B. Speciation, from the tasks within the framework of environmental impact and risk assessment. Zhurnal ekologicheskoy bezopasnosti = Journal of environmental, 2007, (1.3), pp. 47-53. (In Russian)

Validzhon M. Miryakhyaev – lead engineer of the Branch of Nuclear Radiation Safety Agency of the Academy of sciences of the Republic of Tajikistan, Buston, Tajikistan

Khakimdzhon I. Tilloboev – head of chair of organic and applied chemistry of B. Gafurov Khujand State University, Khujand, Tajikistan

For correspondence: Kholmurod M. Nazarov – principal research worker of Nuclear and Radiation Safety Agency of Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan Branch in Sogd region (1A Oplanchuk, Buston, 735730, Tajikistan; E-mail: holmurod18@mail.ru)

Manizha M. Makhmudova – assistant of the chair of children diseases Abualilbn Sino Tajik State Medical University, Dushanbe, Tajikistan

Ulmas M. Mirsaidov – senior research assistant, Nuclear Radiation Safety Agency of the Academy of sciences of the Republic of Tajikistan, Dushanbe, Tajikistan

For citation: Miryakhyaev V.M., Tilloboev Kh.I., Nazarov Kh.M., Makhmudova M.M., Mirsaidov U.M. ^{210}Po and ^{210}Pb Isotopes Content in the Water of Artificial Lake of Istiklol City of the Republic of Tajikistan and their Bioaccumulation in the Fish. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene, 2019, Vol. 12, No. 2 (special issue), pp. 50-53. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426x-2019-12-2s-50-53

Kholmurod M. Nazarov

B. Gafurov Khujand State University

Address for correspondence: 1A Oplanchuk, Buston, 735730, Tajikistan; E-mail: holmurod18@mail.ru

Радиационно-экологический мониторинг в регионе размещения Ростовской АЭС. Анализ результатов многолетних исследований

А.В. Панов, Н.Н. Исамов, В.К. Кузнецов

Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии,
Минобрнауки России, Обнинск, Россия

Целью настоящей работы являлась оценка влияния Ростовской АЭС (в составе 4 блоков с реакторами ВВЭР-1000) на радиоэкологическую обстановку в регионе размещения станции в течение 18 лет с момента пуска первого энергоблока. На основе результатов наблюдений на созданной в 2001 г. сети радиационно-экологического мониторинга, включающей 7 контрольных участков и 5 контрольных пунктов, проведен анализ содержания природных и техногенных радионуклидов в объектах окружающей среды, сельскохозяйственной продукции и продуктах питания. Показано, что за весь рассматриваемый период среднее содержание ^{90}Sr в почвах агроэкосистем 15-километровой зоны влияния АЭС варьировало в пределах 1,7–7,4 Бк/кг, а ^{137}Cs – 7,5–14,9 Бк/кг, при этом не было обнаружено трендов на увеличение удельной активности этих техногенных радионуклидов в почве на всей рассматриваемой территории. Диапазон вариации среднего содержания в почве естественных радионуклидов составлял для ^{40}K 561–634 Бк/кг, ^{226}Ra – 23,4–27,5 Бк/кг, ^{232}Th – 32,7–35,9 Бк/кг. Средняя концентрация ^{90}Sr в зерне находилась в диапазоне 0,1–0,68 Бк/кг, а ^{137}Cs – 0,23–0,54 Бк/кг. Даже максимальные значения удельной активности техногенных радионуклидов в продовольственном зерне были в 55 раз для ^{90}Sr и в 65 раз для ^{137}Cs ниже действующих нормативов СанПиН. Максимальные уровни содержания ^{137}Cs в овощах, картофеле и бахчевых были в 80 раз ниже норматива СанПиН. В молоке максимальные уровни удельной активности ^{90}Sr более чем в 400 раз ниже нормативных значений СанПиН (25 Бк/кг), а по ^{137}Cs (норматив 100 Бк/кг) эта разница составила 600 раз. Минимальными коэффициентами перехода радионуклидов характеризуются овощные культуры. Коэффициенты перехода ^{90}Sr в овощи, соотносящие концентрации радионуклидов в растениях с плотностью поверхностного загрязнения (Бк/кг)/(кБк/м²), в зависимости от вида продукции находятся в диапазоне 0,04–0,17, а для ^{137}Cs – в пределах 0,008–0,2. Максимальные коэффициенты перехода радионуклидов отмечены в многолетних травах. Коэффициенты перехода ^{90}Sr в естественные и многолетние сеяные травы составляют 0,75–2,2, а для ^{137}Cs – 0,28–0,86. Различия в коэффициентах перехода между овощами и травами достигают 50 раз, а в среднем составляют 10–20 раз. Отмечено, что все виды культур накапливают в среднем в 2–5 раз больше ^{90}Sr по сравнению с ^{137}Cs . Показано, что содержание техногенных радионуклидов в воде Цимлянского водохранилища ниже уровня вмешательства по ^{90}Sr в 163 раза, а по ^{137}Cs – в 183 раза. В целом, анализ 18-летних результатов наблюдений за радиоэкологической обстановкой в регионе размещения Ростовской АЭС позволяет заключить, что эксплуатация данной атомной электростанции в штатном режиме и ввод в действие новых энергоблоков не привели к регистрируемому увеличению содержания техногенных радионуклидов в продукции сельского хозяйства, продуктах питания и объектах окружающей среды.

Ключевые слова: атомная электростанция, радиационно-экологический мониторинг, радиационная безопасность, радионуклиды, сельскохозяйственная продукция, продукты питания, наземные аграрные экосистемы, водные экосистемы.

Введение

Перспективы развития ядерной энергетики как важной составляющей энергобезопасности государства во многом определяются решением ряда экологических задач, одной из которых является обоснование радиационной безопасности человека при эксплуатации атомных электростанций и связанных с этим выбросов и сбросов радионуклидов в окружающую среду [1–2]. Это обоснование возможно только при организации и ведении

радиационно-экологического мониторинга в регионах размещения АЭС на основе результатов многолетних наблюдений за поступающими от электростанции радионуклидами в окружающую среду. При эксплуатации АЭС в технологически штатном режиме происходят выбросы и сбросы определенного, строго контролируемого количества радионуклидов, которые, попадая в окружающую среду, включаются в пищевые цепочки миграции и формируют дополнительное к естественному фону облучение

Панов Алексей Валерьевич

Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии

Адрес для переписки: 249032, Калужская обл., г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км; E-mail: riar@mail.ru

человека. Сельскохозяйственная продукция (и в первую очередь продукты питания), производимая в регионе размещения АЭС, во всех случаях является одним из основных источников поступления радионуклидов в организм человека, проживающего на территории, прилегающей к атомной электростанции. Это обуславливает особое внимание к аграрным экосистемам как к объекту воздействия на население предприятий ядерной энергетики [3]. Учитывая, что в Российской Федерации в 30-километровых зонах влияния АЭС от 50 до 90% территории занимают сельскохозяйственные угодья, становится очевидной необходимость организации системы радиационно-экологического мониторинга аграрных экосистем в регионах размещения атомных электростанций для обеспечения безопасного проживания населения и снабжения его продуктами питания, соответствующими санитарно-гигиеническим нормативам [4]. Для исследования была выбрана Ростовская (с 2001 по 2010 г. Волгодонская) АЭС суммарной мощностью 4,03 ГВт, которая является крупнейшим на аграрном юге России предприятием энергетики, вырабатывая около 30% годового регионального объема электроэнергии.

Цель исследования – анализ результатов многолетних наблюдений за влиянием Ростовской АЭС на радиоэкологическую обстановку в регионе размещения станции, полученных на созданной сети радиационно-экологического мониторинга.

Задачи исследования

В число задач исследования входили:

- оценка содержания природных и техногенных радионуклидов в объектах окружающей среды (почва, вода, донные отложения) в регионе размещения Ростовской АЭС в период 2001–2018 гг.;
- анализ динамики распределения техногенных радионуклидов в почвенном профиле и влияние пуска новых энергоблоков Ростовской АЭС на этот процесс;
- оценка многолетних данных по накоплению радионуклидов в сельскохозяйственной продукции и продуктах питания в регионе Ростовской АЭС и сравнение их с радиологическими нормативами;
- анализ параметров накопления радионуклидов в сельскохозяйственной продукции и продуктах питания на каштановых почвах в зоне влияния Ростовской АЭС.

Материалы и методы

Площадка Ростовской АЭС (РАЭС) расположена в Дубовском районе Ростовской области в 13,5 км от г. Волгодонска и в 19,8 км от г. Цимлянска. Ближайшие населенные пункты (хутор Харсеев и станица Подгоренская) находятся вне санитарно-защитной зоны РАЭС на расстоянии 4,0 и 5,0 км соответственно. Тридцатикилометровая зона наблюдения РАЭС, занимающая площадь 282,6 тыс. га, включает 91,3 га водной поверхности юго-западной части Цимлянского водохранилища. В 30-километровую зону входят два города – Волгодонск и Цимлянск, 38 сельских поселений, а также сельскохозяйственные угодья 24 коллективных фермерских хозяйств Волгодонского, Цимлянского, Зимовниковского и Дубовского районов. В структуре землепользования агропредприятий преобладают пахотные угодья – 68,5%

и пастбища – 21,6%. Сельскохозяйственными землями занято 93% сухопутной части 30-километровой зоны наблюдения РАЭС. Окружающие электростанцию сельскохозяйственные угодья, в основном, используются под пашню, где возделываются зерновые, овощные, а также кормовые культуры. Основной почвенный фонд данного региона составляют каштановые почвы и южные черноземы тяжелого гранулометрического состава. Совместно со средне-, тяжелосуглинистыми и глинистыми по механическому составу почвами они формируют 92–100% почвенного покрова от общей площади сельскохозяйственных угодий в зоне наблюдения РАЭС [4]. На основе анализа данных по характеристикам почв агроэкосистем и структуре землепользования в 2001 г. была заложена сеть радиационно-экологического мониторинга (рис. 1) в зоне влияния РАЭС, включающая 7 контрольных участков (КУ) и 2 контрольных пункта (КП).

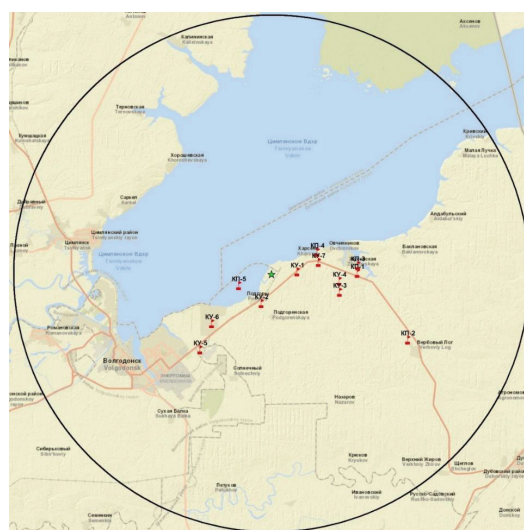


Рис. 1. Карта-схема контрольных участков и пунктов сети радиационно-экологического мониторинга в регионе размещения Ростовской АЭС (* – Ростовская АЭС; КУ – контрольный участок, КП – контрольный пункт)
[Fig. 1. Schematic map of control sites and control points of the radioecological monitoring network in the vicinity of Rostov NPP (* – Rostov NPP; CS – control site; CP – control point)]

Контрольные участки и контрольные пункты, расположенные в 15-километровой зоне размещения РАЭС, выбирались в соответствии с требованиями МУ-13.5.13-00 [3] по «розе ветров» таким образом, чтобы на преобладающих типах почв были представлены основные возделываемые в регионе сельскохозяйственные культуры, при этом отдельно анализировались данные для пахотных и лугопастбищных угодий. Площадь сельскохозяйственных угодий, где были заложены контрольные участки, варьировала от 20 до 192 га, а территория садовых обществ составляла 10 га. При выборе контрольных участков на пастбищах оценивалась информация по направлениям и отраслевой структуре ведения животноводства. В связи с преобладанием в регионе мясного скотоводства и молока как критического продукта, с которым поступает наибольшее количество радионуклидов в рацион питания населения, было выбрано 2 контрольных пункта (КП-1 и

КП-2), где имеется молочное стадо коров. Для оценки радиационно-экологической ситуации в водной экосистеме Цимлянского водохранилища в 2018 г. были определены три контрольных пункта (КП-3 – КП-5) (табл. 1).

Мониторинговые исследования проводились в соответствии с требованиями МУ-13.5.13-00 [3] и рекомендациями [5] в период 2001–2018 гг. на всем промежутке времени, за исключением отдельных лет. На контрольных участках, расположенных на пашне, отбирался пахотный горизонт (0–20 см), а на лугах и пастбищах – верхний слой почвы глубиной 10 см. При сопряженном отборе растительных и почвенных образцов для определения содержания радионуклидов, агрохимических показателей почв и коэффициентов накопления радионуклидов в продукции растениеводства одновременно проводилось и измерение мощности AMBIENTного эквивалента дозы

(МАЭД). На контрольном участке КУ-2 в 2008 и 2018 гг. дополнительно отбирались пробы почвы послойно, что дало возможность оценить динамику вертикального распределения радионуклидов в почвенном профиле. Отобранная при мониторинге продукция растениеводства разделялась на хозяйственно-ценную (зерно, клубне- и корнеплоды, овощи) и побочную часть продукции (солома и др.). На контрольных пунктах, где ведется наблюдение за миграцией радионуклидов по животноводческой цепочке (КП-1 и КП-2), был проведен отбор проб почвы, рациона сельскохозяйственных животных, молока и говядины. В водной экосистеме Цимлянского водохранилища отбирались пробы воды, донных отложений и рыбы (табл. 2). Во всех отобранных образцах определяли содержание естественных (^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th) и наиболее радиологически значимых техногенных (^{90}Sr , ^{137}Cs) радионуклидов.

Характеристика сети радиационно-экологического мониторинга в регионе размещения Ростовской АЭС

Таблица 1

[Table 1]

Characteristic of the radioecological monitoring network in the vicinity of the Rostov NPP

Контрольный участок (пункт) [Control site (point)]	Направление и расстояние от АЭС, км [Direction and distance from NPP, km]	Ближайший населенный пункт [Nearest settlement]	Хозяйство [Farm]	Вид хозяйственного использования [Direction of domestic using]
Наземные аграрные экосистемы [Terrestrial agrarian ecosystems]				
КУ-1 [CS-1]	В, 2 [E, 2]	х. Харсеев [Harseev]	СПК «Новожикуровский» [Novozhukovsky farm]	Пашня, 153 га [Arable land, 153 ha]
КУ-2 [CS-2]	Ю, 4 [S, 4]	ст. Подгоренская [Podgorenskaya]	СПК «Новожикуровский» [Novozhukovsky farm]	Сенокос, 20 га [Hay fields, 20 ha]
КУ-3 [CS-3]	Ю-В, 6,5 [S-E, 6,5]	ст. Подгоренская [Podgorenskaya]	СПК «Новожикуровский» [Novozhukovsky farm]	Пашня, 164 га [Arable land, 164 ha]
КУ-4 [CS-4]	В, 5 [E, 5]	ст. Жуковская [Zhukovskaya]	СПК «Новожикуровский» [Novozhukovsky farm]	Пашня, 192 га [Arable land, 192 ha]
КУ-5 [CS-5]	Ю-З, 11,6 [S-W, 11,6]	п. Солнечный [Solnechny]	ЗАО «ПТФ им. Черникова» [CJS poultry plant Chernikova]	Пашня, 90 га [Arable land, 90 ha]
КУ-6 [CS-6]	Ю-З, 8,3 [S-W, 8,3]	х. Подгоры [Podgory]	Садовые общества [Garden]	Сад, 10 га [Garden, 10 ha]
КУ-7 [CS-7]	С-В, 7 [N-E, 7]	х. Овчинников [Ovchinnikov]	СПК «Новожикуровский» [Novozhukovsky farm]	Пашня, 154 га [Arable land, 154 ha]
КП-1 [CP-1]	С-В, 7,5 [N-E, 7,5]	ст. Жуковская [Zhukovskaya]	Частное стадо молочных коров [Herd of private cows]	Пастбище [Pasture]
КП-2 [CP-2]	Ю-В, 15 [S-E, 15]	Ст. Вербовый Лог [Verbovy Log]	Частное стадо молочных коров [Herd of private cows]	Пастбище [Pasture]
Водные экосистемы [Freshwater ecosystems]				
КП-3 [CP-3]	С-В, 8 [N-E, 8]	ст. Жуковская [Zhukovskaya]	Цимлянское водохранилище [Tsimlyansk reservoir]	Водоем [Water]
КП-4 [CP-4]	С-В, 5 [N-E, 5]	х. Харсеев [Harseev]	Цимлянское водохранилище [Tsimlyansk reservoir]	Водоем [Water]
КП-5 [CP-5]	З, 2 [W, 2]	х. Подгоры [Podgory]	Цимлянское водохранилище [Tsimlyansk reservoir]	Водоем [Water]

Объем исследований на сети радиационно-экологического мониторинга в регионе размещения Ростовской АЭС в период 2001–2018 гг.

Таблица 2

[Table 2]

The scales of research on the radioecological monitoring network in the vicinity of the Rostov NPP (2001–2018)

Контрольный участок (пункт) [Control site (point)]	Период наблюдения [Period of monitoring]	Объекты окружающей среды [The objects of environment]	Сельскохозяйственная продукция [Agricultural products]	Продукты питания [Foodstuff]
КУ-1 [CS-1]	2001–2003, 2008–2010, 2012–2014, 2016, 2018	Почва (пахотный слой 0–20 см) [Soil (topsoil 0–20 cm)]	Озимая пшеница (зерно, солома); ячмень (зерно, солома) [Winter wheat (grain, straw); Barley (grain, straw)]	–
КУ-2 [CS-2]		Почва (верхний слой 0–10 см); почва (последовательно в 2008, 2018 гг.) [Soil (topsoil 0–10 cm); Soil (layers in 2008, 2018)]	Естественные травы [Natural grass]	–
КУ-3 [CS-3]		Почва (пахотный слой 0–20 см) [Soil (topsoil 0–20 cm)]	Многолетние сеянные травы; озимая пшеница (зерно, солома); ячмень (зерно, солома) [Perennial grass; Winter wheat (grain, straw); Barley (grain, straw)]	–
КУ-4 [CS-4]		Почва (пахотный слой 0–20 см) [Soil (topsoil 0–20 cm)]	–	Лук (перо, репка); картофель (клубни); томаты [Onion (green, bulb); Potato (tuber); Tomato]
КУ-5 [CS-5]		Почва (пахотный слой 0–20 см) [Soil (topsoil 0–20 cm)]	Озимая пшеница (зерно, солома); ячмень (зерно, солома); тритикале (зерно, солома) [Winter wheat (grain, straw); Barley (grain, straw); Triticale (grain, straw)]	–
КУ-6 [CS-6]		Почва (пахотный слой 0–20 см) [Soil (topsoil 0–20 cm)]	–	Баклажаны; кабачки; капуста; морковь; перец; свекла столовая; томаты [Eggplant; Zucchini; Cabbage; Carrot; Bell pepper; Beetroot; Tomato]
КУ-7 [CS-7]		Почва (пахотный слой 0–20 см) [Soil (topsoil 0–20 cm)]	Многолетние сеянные травы; озимая пшеница (зерно, солома); ячмень (зерно, солома); сорго [Perennial grass; Winter wheat (grain, straw); Barley (grain, straw); Sorghum]	–
КП-1 [CP-1]	2001–2003, 2008–2010, 2012–2014, 2016, 2018	Почва (верхний слой 0–10 см) [Soil (topsoil 0–10 cm)]	Естественные травы [Natural grass]	Молоко [Milk]
КП-2 [CP-2]		Почва (верхний слой 0–10 см) [Soil (topsoil 0–10 cm)]	Многолетние сеянные травы [Perennial grass]	Молоко; говядина [Milk; Beef]
КП-3 [CP-3]	2018	Вода; лонные отложения [Water; bottom sediments]	–	–
КП-4 [CP-4]		Вода; лонные отложения [Water; bottom sediments]	–	–
КП-5 [CP-5]		Вода; лонные отложения [Water; bottom sediments]	–	Рыба лещ [Fish bream]

Функционирование Ростовской АЭС обеспечивается работой четырех энергоблоков с реакторами ВВЭР-1000: энергоблок №1 запущен в 2001 г., №2 – в 2010 г., №3 – в 2015 г. и №4 – в 2018 г. соответственно. Поэтому ведение радиационно-экологического мониторинга в регионе размещения РАЭС в течение 18 лет дало возможность оценить влияние атомной электростанции на человека и окружающую среду от эксплуатации всех четырех энергоблоков.

Результаты и обсуждение

На первом этапе анализа данных сети радиационно-экологического мониторинга в регионе размещения РАЭС была выполнена оценка динамики удельной активности радионуклидов техногенного происхождения в почвенных образцах. За весь 18-летний период наблюдений содержание ^{90}Sr в почве варьировало в достаточно узких пределах 1,1–8,7 Бк/кг, а ^{137}Cs – от 5,4 до 18,8 Бк/кг. Вариабельность данных по контрольным участкам и пунктам составляла 1,2–4,0 раза для ^{90}Sr и 1,4–3,0 раза для ^{137}Cs . При этом ни-

где не было обнаружено трендов на увеличение содержания техногенных радионуклидов в отобранных почвенных образцах на всей рассматриваемой территории (рис. 2). Таким образом, начиная с 2001 г., ввод в эксплуатацию новых энергоблоков РАЭС не оказал влияния на увеличение содержания техногенных радионуклидов в почвах агроэкосистем, прилегающих к атомной электростанции территорий.

Среднее содержание ^{90}Sr в почве в регионе размещения РАЭС составляет 1,7–7,4 Бк/кг, ^{137}Cs варьирует в пределах 7,5–14,9 Бк/кг. Диапазон вариации среднего содержания в почве естественных радионуклидов составляет: для ^{40}K 561–634 Бк/кг, для ^{226}Ra 23,4–27,5 Бк/кг, для ^{232}Th 32,7–35,9 Бк/кг (табл. 3). Мощность эквивалентных доз гамма-излучения на местности за годы исследований находилась в диапазоне 0,09–0,16 мкЗв/ч при среднем значении 0,13 мкЗв/ч. Полученные результаты мониторинга хорошо согласуются как с данными из международных источников [6], так и с результатами российских исследований, проведенных в регионе Ростовской АЭС [7–8].

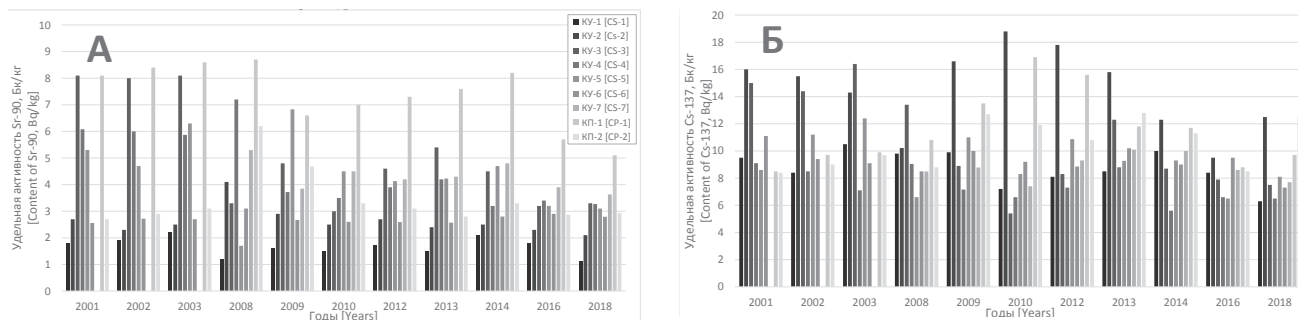


Рис. 2. Содержание техногенных радионуклидов (А – ^{90}Sr , Б – ^{137}Cs) в почвах контрольных участков и контрольных пунктов сети радиационно-экологического мониторинга в регионе размещения Ростовской АЭС в период 2001–2018 гг.

[Fig. 2. Content of technogenic radionuclides (A – ^{90}Sr , Б – ^{137}Cs) in soils of control sites and control points of the radioecological monitoring network in the vicinity of Rostov NPP in 2001–2018]

Таблица 3
Содержание естественных и техногенных радионуклидов в почве сельскохозяйственных угодий в регионе размещения Ростовской АЭС в 2001–2018 гг., Бк/кг

[Table 3]
Content of natural and artificial radionuclides in agricultural soils in the vicinity of the Rostov NPP (2001–2018), Bq/kg

Контрольный участок (пункт) [Control site (point)]	МАЭД, мкЗв/ч [Gamma dose rate, $\mu\text{Sv/h}$]	^{40}K	^{226}Ra	^{232}Th	^{90}Sr	^{137}Cs
КУ-1 [CS-1]	0,13* 0,11–0,15	604 490–856	25,2 22,4–31,3	34,1 28,6–39,5	1,7 1,1–2,2	8,8 6,3–10,5
КУ-2 [CS-2]	0,13 0,11–0,15	634 535–713	25,2 20,9–29,9	35,5 25,7–41,7	2,6 2,1–4,1	14,9 9,5–18,8
КУ-3 [CS-3]	0,13 0,11–0,15	585 430–652	24,9 21,5–33,4	35,9 28,1–47,2	5,1 3,0–8,1	10,7 5,4–16,4
КУ-4 [CS-4]	0,13 0,11–0,15	570 416–711	23,9 20,3–30,8	32,7 27,3–38,6	4,6 3,2–7,2	7,5 5,6–9,1
КУ-5 [CS-5]	0,13 0,11–0,16	575 447–704	23,4 20,0–29,7	35,7 31,0–48,9	4,4 1,7–6,8	9,3 6,5–12,4
КУ-6 [CS-6]	0,13 0,11–0,15	616 532–728	23,8 17,9–29,7	34,6 29,3–43,0	2,7 2,6–3,1	9,3 7,3–11,1
КУ-7 [CS-7]	0,13 0,12–0,15	586 482–691	26,4 21,7–34,2	35,4 27,9–40,0	4,3 3,6–5,3	8,8 7,4–10,1

Контрольный участок (пункт) [Control site (point)]	МАЭД, мкЗв/ч [Gamma dose rate, μSv/h]	⁴⁰ K	²²⁶ Ra	²³² Th	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs
КП-1 [CP-1]	0,13 0,11–0,17	561 452–687	25,2 19,2–28,6	34,3 21,1–42,3	7,4 5,1–8,7	11,5 8,5–16,9
КП-2 [CP-2]	0,12 0,09–0,15	574 489–708	27,5 19,6–34,5	33,6 29,5–39,6	3,4 2,7–6,2	10,8 8,4–12,8
Среднее в РФ [6] [Average in Russia [6]]	–	520 100–1400	27 1–76	30 2–79	–	–
Регион РАЭС [7] [Area of Rostov NPP [7]]	–	563 2,9–6162,6	41,8 0,8–69,0	38,7 0,9–82,4	–	16,9 0,5–91,4
Регион РАЭС [8] [Area of Rostov NPP [8]]	–	–	–	–	–	19,9 1,0–76,0

* числитель – среднее, знаменатель – мин. – макс. [numerator – average, denominator – min. – max]

Сравнительный анализ данных по удельной активности техногенных радионуклидов в почве пашни и лугопастбищных угодий показал, что на последних уровнях содержания ⁹⁰Sr на 15%, а ¹³⁷Cs на 25% выше, что объясняется проведением на пашне ежегодных агротехнических мероприятий и перераспределением радионуклидов в почвенном профиле на большую глубину.

Для оценки динамики миграции радионуклидов техногенного происхождения в почве целинных лугов в 2008 и 2018 гг. на контрольном участке КУ-2 (сенокос с естественными многолетними травами) были отобраны пробы почвы послойно на глубину до 25 см (рис. 3). Видна достаточно низкая вариабельность распределения ⁹⁰Sr в почвенном горизонте (в пределах 0,5–1 Бк/кг) и ¹³⁷Cs (диапазон 1–5 Бк/кг). При этом не отмечено достоверного увеличения содержания этих радионуклидов в верхних слоях почвы за 10-летний период, что говорит об отсутствии значимого дополнительного поступления ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs в окружающую среду после пуска энергоблоков № 2, № 3 и № 4 РАЭС, а присутствие их в почве объясняется глобальными выпадениями.

Почвы контрольных участков и пунктов представлены двумя основными типами: каштановыми (КУ-4, КУ-7 и КП-1) и темно-каштановыми (все остальные). Они имеют нейтральную или слабощелочную реакцию, низкую гидролитическую кислотность, невысокое содержание гумуса,

высокую емкость катионного обмена, достаточно высокую обеспеченность элементами минерального питания. Почвенный поглощающий комплекс насыщен обменными катионами – сумма обменных оснований в среднем составляет около 30 мг-экв/100 г почвы. Сравнительный анализ данных разных лет не выявил существенных различий в почвенных характеристиках. Варьирование наиболее устойчивых почвенных показателей (кислотность, содержание гумуса, сумма обменных оснований) не превышало 30%. Наиболее значимые различия до 2–2,5 раз наблюдались только по содержанию в почве элементов минерального питания – азота, фосфора, калия. Эти показатели зависят от доз агроулучшителей, внесенных в различные годы. В связи с этим отмечено как увеличение, так и снижение уровней содержания элементов питания в почве контрольных участков и пунктов. Показатель гранулометрического состава почв характеризовался незначительной вариабельностью.

С точки зрения радиационной безопасности человека более значимым является определение содержания радионуклидов в производимой сельскохозяйственной продукции и продуктах питания, а также оценка их соответствия установленным радиологическим стандартам и санитарно-гигиеническим нормативам. Это особенно важно, поскольку в регионе Ростовской АЭС значительную долю в рационе питания населения составляют пи-

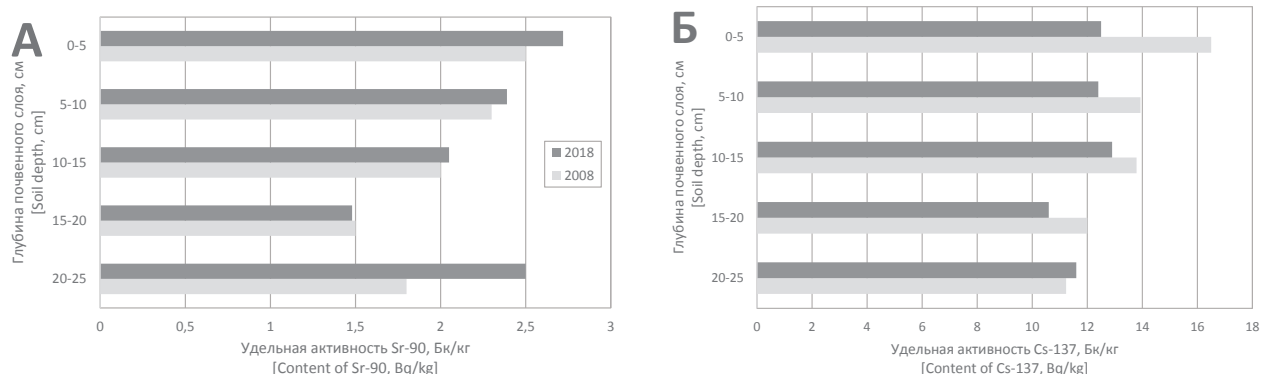


Рис. 3. Распределение техногенных радионуклидов (А – ⁹⁰Sr, Б – ¹³⁷Cs) в почвенном профиле контрольного участка КУ-2 в 2008 и 2018 гг.
[Fig. 2. Content of technogenic radionuclides (А – ⁹⁰Sr, Б – ¹³⁷Cs) in soils of control sites and control points of the radioecological monitoring network in the vicinity of Rostov NPP in 2001–2018]

щевые продукты местного производства. Среднее содержание радионуклидов в продовольственном зерне за весь 18-летний период наблюдений находилось в диапазонах:

для ^{40}K 115–209 Бк/кг, для ^{90}Sr 0,1–0,68 Бк/кг и для ^{137}Cs 0,23–0,54 Бк/кг (табл. 4). Вариабельность данных в накоплении радионуклидов в продукции растениеводства

Таблица 4

Содержание естественных и техногенных радионуклидов в сельскохозяйственной продукции в регионе размещения Ростовской АЭС в 2001–2018 гг., Бк/кг

[Table 4]

Content of natural and artificial radionuclides in agricultural products in the vicinity of the Rostov NPP (2001–2018), Bq/kg

Контрольный участок (пункт) [Control site (point)]	Сельскохозяйственная культура [Agricultural culture]	Хозяйственно ценная часть [Valuable part of the plant]	⁴⁰ K	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs
КУ-1 [CS-1]	Озимая пшеница [Winter wheat]	Зерно [Grain]	146* 130–178	0,1 0,07–0,12	0,24 0,17–0,32
		Солома [Straw]	329 256–503	0,36 0,30–0,41	1,34 0,94–1,60
	Ячмень [Barley]	Зерно [Grain]	143 128–168	0,2 0,17–0,22	0,34 0,27–0,46
		Солома [Straw]	339 243–396	0,43 0,33–0,57	1,42 1,15–1,70
КУ-2 [CS-2]	Естественные травы [Natural grass]	Зеленая масса [Green mass]	375 167–691	1,2 0,5–1,9	1,7 0,9–2,3
		Зерно [Grain]	151 113–195	0,16 0,11–0,20	0,54 0,35–0,90
КУ-3 [CS-3]	Озимая пшеница [Winter wheat]	Солома [Straw]	348 101–706	0,44 0,41–0,49	0,97 0,67–1,50
		Зерно [Grain]	208 157–240	0,22 0,18–0,27	0,47 0,41–0,53
	Ячмень [Barley]	Солома [Straw]	401 390–418	0,49 0,41–0,57	1,12 0,75–1,78
		Многолетние сеянные травы [Perennial grass]	Зеленая масса [Green mass]	643 449–955	3,7 2,8–4,3
КУ-5 [CS-5]	Озимая пшеница [Winter wheat]	Зерно [Grain]	154 133–197	0,39 0,18–0,74	0,45 0,31–0,60
		Солома [Straw]	436 198–895	0,74 0,50–1,16	1,36 0,94–1,86
	Ячмень [Barley]	Зерно [Grain]	115 98–132	0,68 0,65–0,71	0,31 0,25–0,36
		Солома [Straw]	223 190–256	1,31 1,22–1,40	2,0 1,90–2,10
	Тритикале [Triticale]	Зерно [Grain]	145 132–163	0,17 0,15–0,21	0,27 0,08–0,37
		Солома [Straw]	350 127–630	0,39 0,35–0,43	0,99 0,89–1,11
	Озимая пшеница [Winter wheat]	Зерно [Grain]	150	0,14	0,23
		Солома [Straw]	180	0,54	1,07
КУ-7 [CS-7]	Ячмень [Barley]	Зерно [Grain]	209 144–296	0,15 0,13–0,17	0,35 0,31–0,39
		Солома [Straw]	344 136–457	0,35 0,27–0,39	1,48 1,30–1,63
	Многолетние сеянные травы [Perennial grass]	Зеленая масса [Green mass]	488 287–758	1,16 0,48–2,3	1,06 0,87–1,20
		Сорго [Sorghum]	Зеленая масса [Green mass]	315 306–324	0,44 0,37–0,51
КП-1 [CP-1]	Естественные травы [Natural grass]	Зеленая масса [Green mass]	335 165–495	1,70 0,53–2,70	1,22 0,56–2,30
КП-2 [CP-2]	Многолетние сеянные травы [Perennial grass]	Зеленая масса [Green mass]	394 291–601	0,76 0,58–0,90	1,21 0,87–1,70

* числитель – среднее, знаменатель – мин. – макс. [numerator – average, denominator – min. – max]

объясняется как сортовыми особенностями растений, так и погодными условиями, а также дозами применения агро-мелиорантов в разные годы исследований, что в определенной степени повлияло на миграцию радионуклидов. Например, различия в накоплении естественных радионуклидов в зерне для одной и той же культуры в разные годы составили 1,1–2,1 раза, а для техногенных – 1,1–4,6 раза, при этом ни на одном контрольном участке не были зафиксированы тренды по увеличению во времени содержания ^{90}Sr и ^{137}Cs в данной сельскохозяйственной продукции. Даже максимальные значения удельной активности техногенных радионуклидов в продовольственном зерне (^{90}Sr – 0,74 и ^{137}Cs – 0,90 Бк/кг) были в 55 раз для ^{90}Sr и в 65 раз для ^{137}Cs ниже действующих нормативов (СанПиН 2.3.2.1078-01 и СанПиН 2.3.2.2650-10).

В кормах для сельскохозяйственных животных (солома, естественные и сеянные травы) радионуклиды накапливаются в большей степени по сравнению с зерном, что связано с биологическими особенностями растений. Так, в соломе зерновых с контрольных участков среднее содержание ^{90}Sr варьировало в диапазоне 0,35–1,31 Бк/кг и ^{137}Cs – 0,97–2,0 Бк/кг, а в зеленой массе трав с контрольных участков и контрольных пунктов этот диапазон составлял 0,44–3,7 Бк/кг для ^{90}Sr и 0,87–1,8 Бк/кг для ^{137}Cs соответственно (см. табл. 4). За весь рассматриваемый 18-летний период наблюдений максимально зафиксированные

уровни удельной активности ^{90}Sr в соломе были в 130 раз ниже норматива по содержанию этого радионуклида в кормах (180 Бк/кг по ВП 13.5.13/06-01), а по ^{137}Cs эта разница составила 190 раз (норматив 400 Бк/кг). Максимальные уровни содержания ^{90}Sr в траве были в 12 раз ниже норматива (50 Бк/кг по ВП 13.5.13/06-01), а ^{137}Cs – почти в 40 раз (норматив 100 Бк/кг). В целом, представленные данные показывают, что продукция растениеводства, производящаяся в регионе размещения Ростовской АЭС, полностью соответствует радиологическим нормативам с большими коэффициентами запаса и не оказывает влияния на формирование дополнительной дозовой нагрузки на население.

При радиационно-экологическом мониторинге всегда особое внимание уделяется продуктам питания местного производства с минимальной технологической кулинарной переработкой. Анализ результатов многолетних наблюдений показывает, что при нормативе СанПиН 2.3.2.2650-10 по содержанию ^{90}Sr 40 Бк/кг в овощах, картофеле и бахчевых, максимальные уровни удельной активности данного радионуклида в этих видах пищевой продукции, производящейся в регионе РАЭС, в 45 раз ниже установленного лимита. Максимальные уровни содержания ^{137}Cs в овощах, картофеле и бахчевых в 80 раз ниже норматива (80 Бк/кг) СанПиН 2.3.2.2650-10 (табл. 5). При довольно большом наборе пищевой растениеводческой продукции, произ-

Таблица 5

Содержание естественных и техногенных радионуклидов в продуктах питания, произведенных в регионе размещения Ростовской АЭС в 2001–2018 гг., Бк/кг

[Table 5]

Content of natural and artificial radionuclides in foodstuffs which manufactured in the vicinity of the Rostov NPP (2001–2018), Bq/kg

Контрольный участок (пункт) [Control site (point)]	Продукт питания [Foodstuff]	^{40}K	^{90}Sr	^{137}Cs
КУ-4 [CS-4]	Лук перо [Green onion]	89	0,17	0,50
	Лук репка [Bulb onion]	53* 30–72	0,10 0,04–0,15	0,25 0,10–0,42
	Картофель [Potato]	122 81–153	0,15 0,06–0,28	0,34 0,10–1,00
	Томаты [Tomato]	109	0,07	0,01
	Баклажаны [Eggplant]	93 69–122	0,05 0,01–0,15	0,12 0,04–0,21
	Кабачки [Zucchini]	81 60–157	0,05 0,03–0,09	0,07 0,02–0,10
	Капуста [Cabbage]	83 46–143	0,09 0,05–0,17	0,12 0,04–0,20
	Морковь [Carrot]	106 57–137	0,13 0,07–0,19	0,19 0,09–0,31
	Перец [Bell pepper]	82 46–108	0,07 0,05–0,09	0,14 0,07–0,24
	Свекла столовая [Beetroot]	114 64–145	0,32 0,07–0,90	0,20 0,12–0,28
КУ-6 [CS-6]	Томаты [Tomato]	80 59–123	0,05 0,03–0,09	0,09 0,06–0,16
	Молоко [Milk]	127 40–180	0,02 0,01–0,06	0,06 0,01–0,16
КП-1 [CP-1]				

Контрольный участок (пункт) [Control site (point)]	Продукт питания [Foodstuff]	^{40}K	^{90}Sr	^{137}Cs
КП-2 [CP-2]	Молоко [Milk]	134 40–152	0,02 0,01–0,03	0,06 0,02–0,17
	Говядина [Beef]	63	0,02	0,07
КП-5 [CP-5]	Рыба лещ [Fish bream]	87	0,09	0,05

* числитель – среднее, знаменатель – мин. – макс. [numerator – average, denominator – min. – max]

водящейся в регионе РАЭС, нельзя выделить какие-либо группы продуктов с повышенными уровнями накопления радионуклидов или имеющими тенденцию к такому увеличению. Содержание техногенных радионуклидов в продукции животноводства за весь 18-летний рассматриваемый период также было довольно низким. Так, в молоке максимальные уровни удельной активности ^{90}Sr были более чем в 400 раз ниже норматива СанПин 2.3.2.1078-01 (25 Бк/кг), а по ^{137}Cs (норматив 100 Бк/кг) эта разница оказалась еще выше – 600 раз. Одна проба говядины не может считаться репрезентативной, однако и в ней уровни содержания ^{90}Sr были чрезвычайно низкие. В действующем в настоящее время СанПиН 2.3.2.2650-10 ^{90}Sr в мясе не нормируется, а при сравнении данных мониторинга с более ранним нормативом СанПин 2.3.2.1078-01 (50 Бк/кг) уровни содержания этого радионуклида в говядине были в 2,5 тыс. раз ниже установленного лимита. По нормативу СанПиН 2.3.2.2650-10 для ^{137}Cs (200 Бк/кг) содержание данного радионуклида в пробе говядины было почти 3 тыс. раз меньше лимита. Аналогичная картина наблюдается и по рыбе из Цимлянского водохранилища. Содержание в пробе леща ^{90}Sr было более чем в 1 тыс. раз ниже норматива СанПин 2.3.2.1078-01 (100 Бк/кг) и в 2,5 тыс. раз ниже норматива по ^{137}Cs (130 Бк/кг).

Достаточно хорошая сходимость полученных нами результатов мониторинга пищевой продукции из региона РАЭС обнаруживается с данными радиационно-гигиенического мониторинга ФГУН НИИРГ. Так, для периода 2007–2009 гг. в [9] представлены результаты по содержанию ^{137}Cs в молоке из региона Ростовской АЭС в диапазоне 0,04–0,12 Бк/кг, в говядине – 0,1–0,2 Бк/кг и в овощах 0,05–0,09 Бк/кг, что практически полностью совпадает с полученными нами данными на более длительном временном промежутке. Результаты ФГБНУ ВНИИРАЭ по оценке содержания искусственных радионуклидов в пищевой продукции, произведенной в регионе РАЭС, также хорошо коррелируют и с результатами, полученными службами Роспотребнадзора на более широкой сети мониторинга всей Ростовской области [10]. Таким образом, можно констатировать, что пищевая продукция из региона РАЭС с момента пуска в 2001 г. первого энергоблока и по настоящее время полностью соответствует установленным в СанПиН нормативам по содержанию радионуклидов ^{90}Sr и ^{137}Cs и не оказывает влияния на формирование дополнительных доз внутреннего облучения у населения.

При прогнозировании накопления радионуклидов в сельскохозяйственной и пищевой продукции используются коэффициенты перехода (КП), равные отношению

концентрации радионуклида в сельскохозяйственных культурах (или кормах и продукции растениеводства) к плотности загрязнения почв. Анализ полученных при мониторинге результатов показывает, что коэффициенты перехода радионуклидов в сельскохозяйственную продукцию невелики, что обусловлено, в основном, высокой сорбционной способностью каштановых почв. Минимальными коэффициентами перехода характеризуются овощные культуры. КП ^{90}Sr в овощи в зависимости от вида продукции находятся в диапазоне 0,04–0,17, а для ^{137}Cs этот параметр варьирует в пределах 0,008–0,2 (Бк/кг)/(кБк/м²). Максимальные КП радионуклидов отмечены в сене трав. КП ^{90}Sr в естественные и многолетние сеянные травы находятся в диапазоне 0,75–2,2, а для ^{137}Cs этот показатель составляет 0,28–0,86 (Бк/кг)/(кБк/м²). Различия в коэффициентах перехода между овощами и травами достигают 50 раз, а в среднем составляют 10–20 раз. Следует отметить, что все виды культур накапливают в среднем в 2–5 раз больше ^{90}Sr по сравнению с ^{137}Cs .

В регионе размещения АЭС радионуклиды стационарного происхождения поступают в водоем-охладитель в составе сбросных вод и путем прямого осаждения выбросов из воздуха. Радионуклиды, попадающие в водоемы, перераспределяются в толще воды и обычно накапливаются в придонных отложениях, бентосе, водных растениях и рыбе. Согласно Нормам радиационной безопасности (НРБ-99/2009), уровни вмешательства при содержании в воде отдельных радионуклидов составляют: ^{90}Sr – 4,9 Бк/кг, ^{137}Cs – 11 Бк/кг. Результаты обследования трёх контрольных точек показывают, что содержание техногенных радионуклидов в воде Цимлянского водохранилища ниже уровня вмешательства по ^{90}Sr в 163 раза, а по ^{137}Cs – в 183 раза (табл. 6).

Содержание естественных радионуклидов в донных отложениях Цимлянского водохранилища близко коррелирует с таковыми в почвах региона наблюдения. Удельная активность техногенных радионуклидов в донных отложениях несколько ниже по сравнению с почвами. Таким образом, можно заключить, что радиозоологическая ситуация в Цимлянском водохранилище, имеющем важное хозяйственное значение для региона, является благополучной.

Полученные результаты мониторинга по содержанию техногенных радионуклидов в воде и продуктах питания (молоко, мясо, рыба, картофель, овощи) хорошо согласуются с данными радиационно-гигиенического мониторинга, проводимого в регионе РАЭС сотрудниками ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА РФ, представленными в работе [11].

Таблица 6

Содержание естественных и техногенных радионуклидов в воде и донных отложениях Цимлянского водохранилища в регионе размещения Ростовской АЭС в 2018 гг., Бк/кг

[Table 6]

Content of natural and artificial radionuclides in water and bottom sediments of Tsimlyansk reservoir in the vicinity of the Rostov NPP (2018), Bq/kg]

Контрольный пункт [Control point]	Вода [Water]			Донные отложения [Bottom sediments]				
	⁴⁰ K	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	⁴⁰ K	²²⁶ Ra	²³² Th	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs
КП-3 [CP-3]	0,21	0,03	0,05	458	24,6	30,8	0,3	2,0
КП-4 [CP-4]	0,24	0,02	0,05	345	24,8	30,6	0,34	3,0
КП-5 [CP-5]	0,24	0,01	0,06	456	26,5	31,5	1,08	1,0

Заключение

Анализ 18-летних результатов наблюдений за радиэкологической обстановкой в регионе размещения Ростовской АЭС, полученных на сети радиационно-экологического мониторинга, позволяет сделать вывод о том, что эксплуатация РАЭС в штатном режиме не приводит к регистрируемому увеличению содержания радионуклидов в продукции сельского хозяйства, продуктах питания и объектах окружающей среды. Система радиационно-экологического мониторинга агроэкосистем должна являться неотъемлемой составляющей в общей системе радиационной безопасности в регионах размещения АЭС и других радиационно-опасных объектов.

При дальнейшем планировании работ по радиационно-экологическому мониторингу в регионе размещения РАЭС следует провести более детальный анализ перечня контролируемых дозообразующих радионуклидов, поступающих в окружающую среду в составе выбросов и сбросов станции. В работе [12] были сделаны консервативные оценки такого рода для РАЭС, которые показали, что вклад в суммарную дозу облучения населения, проживающего в регионе станции, от потребления продуктов питания может варьировать от 7,6 до 79%. Основными дозообразующими радионуклидами являются ¹³¹I (вклад в суммарную дозу 67–80%), ⁶⁰Co (10,9%), ¹³⁷Cs (7,0%) ¹³⁴Cs (1,3%). На основе данных по выбросам РАЭС в отдельные годы отмечен повышенный вклад в дозовую нагрузку от ИРГ (¹³³Xe, ¹³⁵Xe, ^{85m}Kr). Таким образом, вклады основных дозообразующих радионуклидов и путей облучения населения могут существенным образом варьировать в зависимости от состава атмосферных выбросов. В рамках реализации международного проекта МАГАТЭ INPRO ENV выполнен сравнительный анализ составов атмосферных выбросов различных АЭС и оценены дозы облучения населения [13]. Сделан вывод о возможной недооценке суммарной дозовой нагрузки на население в регионе расположения РАЭС в силу ограниченного состава контролируемых радионуклидов (⁶⁰Co, ¹³¹I, ¹³⁷Cs, ¹³⁴Cs и ИРГ) по сравнению с зарубежными АЭС. Также показана возможность влияния на формирование дозы внутреннего облучения биофильных радионуклидов, таких как ³H и ¹⁴C. На основе оценок [12, 13] можно сделать вывод о том, что состав контролируемых радионуклидов в составе выбросов РАЭС требует критического анализа и возможного до-

полнения. В этой связи представляется целесообразным совершенствование программы по радиационно-экологическому мониторингу в регионе размещения РАЭС.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант № 18-19-00016).

Литература

1. Алексахин, Р.М. Актуальные экологические проблемы ядерной энергетики / Р.М. Алексахин // Атомная энергия. – 2013. – Т. 114, №5. – С. 243-248.
2. Большов, Л.А. Экологическая безопасность ядерной энергетики и топливных циклов / Л.А. Большов, Р.В. Арутюнян, И.И. Линге, С.В. Казаков // Бюллетень по атомной энергии. – 2004. – №5. – С. 61-65.
3. Организация государственного радиэкологического мониторинга агроэкосистем в зоне воздействия радиационно-опасных объектов. МУ-13.5.13-00. (утв. Минсельхозом РФ 7 августа 2000 г.) – М., 2000. – 28 с.
4. Радиационно-экологическая обстановка и социально-экономическое состояние региона Ростовской (Волгодонской АЭС). – Обнинск: ГНУ ВНИИХРАЭ, 2008. – 37 с.
5. Методы организации и ведения агроэкологического мониторинга сельскохозяйственных угодий в зонах техногенного загрязнения и оценка экологической обстановки в сельском хозяйстве в регионах размещения атомных электростанций и аварии на ЧАЭС / под ред. Н.И. Санжаровой. – Обнинск: ВНИИХРАЭ, 2010. – 276 с.
6. United Nations, Sources and Effects of Ionizing Radiation (Report to the General Assembly with Scientific Annexes). Volume 1 Sources. Annex B, Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), UN, New York, 2000, pp. 84-156.
7. Аветисян, С.Р. Естественные и искусственные радионуклиды в растительных объектах Ростовской области / С.Р. Аветисян, Е.А. Бураева, А.А. Гончаренко, А.М. Давыденко, Е.В. Дергачева, В.С. Нефедов, В.В. Стасов, А.Н. Триболина // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2. – С. 533.
8. Малаева, Т.Ю. Радиационный контроль района размещения Ростовской АЭС / Т.Ю. Малаева // Глобальная ядерная безопасность. – 2012. – №4(5). – С. 7-13.
9. Прокопенко, С.И. Оценка радиационной обстановки в зоне наблюдения Волгодонской атомной электростанции за 2007-2009 гг. / С.И. Прокопенко, А.Н. Барковский, В.Ю. Голиков, М.В. Калинина, М.Ю. Соловьев // Радиационная гигиена. – 2010. – Т. 3, №3. – С. 47-50.
10. Соловьев, М.Ю. Опыт совершенствования радиационно-гигиенического мониторинга и радиационно-гиги-

- енической паспортизации на территории Ростовской области / М.Ю. Соловьев, М.В. Калинина, Т.В. Жукова // Радиационная гигиена. – 2010. – Т. 3, №1. – С. 40-44.
11. Шандала, Н.К. Состояние радиационно-гигиенической обстановки в районе размещения АЭС / Н.К. Шандала, И.П. Коренков, В.В. Романов // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2015. – Т. 60, №2. – С. 15-21.
 12. Шарпан, Л.А. Оценка дозы облучения населения в результате атмосферных выбросов Ростовской АЭС / Л.А. Шарпан, Е.И. Карпенко, С.И. Спиридонов // Атомная энергия. – 2013. – Т. 115, №3. – С. 163-166.
 13. Спиридонов, С.И. Ранжирование радионуклидов и путей облучения по вкладу в дозовую нагрузку на население, формирующуюся в результате выбросов атомных электростанций / С.И. Спиридонов, Е.И. Карпенко, Л.А. Шарпан // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2013. – Т. 53, №4. – С. 401-410.

Поступила: 19.04.2019 г.

Панов Алексей Валерьевич – доктор биологических наук, профессор РАН, заместитель директора Всероссийского научно-исследовательского института радиологии и агроэкологии. **Адрес для переписки:** 249032, Калужская обл., г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км; E-mail: riar@mail.ru

Исамов Низаметдин Низаметдинович – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник Всероссийского научно-исследовательского института радиологии и агроэкологии, Обнинск, Россия

Кузнецов Владимир Константинович – доктор биологических наук, главный научный сотрудник Всероссийского научно-исследовательского института радиологии и агроэкологии, Обнинск, Россия

Для цитирования: Панов А.В., Исамов Н.Н., Кузнецов В.К. Радиационно-экологический мониторинг в регионе размещения Ростовской АЭС. Анализ результатов многолетних исследований // Радиационная гигиена. – 2019. – Т. 12, № 2 (спецвыпуск). – С. 54-65. DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12s-54-65.

Radioecological monitoring in the vicinity of Rostov NPP. The analysis of results of long-term investigations

Aleksey V. Panov, Nizametdin N. Isamov, Vladimir K. Kuznetsov

All Russian Institute of radiology and agroecology, Obninsk, Russia

The purpose of this work was to assess the influence of the Rostov NPP (consisting of 4 units with VVER-1000 reactors) on the radioecological situation in the region of the station location within 18 years from the start of the first power reactor. Based on the results of observations at the radioecological monitoring network established in 2001, which included seven control sites and five control points, the content of natural and artificial radionuclides in environmental objects, agricultural products and foodstuffs was analyzed. It was shown that over the entire period under consideration, the average content of ^{90}Sr in the soils of agroecosystems of the 15-km zone of influence of the Rostov NPP varied within 1.7-7.4 Bq/kg, and ^{137}Cs – 7.5-14.9 Bq/kg. It was not detected any trends to increase in the concentrations of artificial radionuclides in the soil throughout the considered territory. The variation range of the average content of natural radionuclides in soils was 561-634 Bq/kg for ^{40}K , 23.4-27.5 Bq/kg for ^{226}Ra and 32.7-35.9 Bq/kg for ^{232}Th . The average concentration of ^{90}Sr in the grain was in the range of 0.1-0.68 Bq/kg, and ^{137}Cs – 0.23-0.54 Bq/kg. Even the maximum specific activity values of artificial radionuclides in food grain were below the SanPiN standards 55 times for ^{90}Sr and 65 times for ^{137}Cs . The maximum levels of ^{137}Cs in vegetables and potatoes and vine crops were 80 times lower than the SanPiN standards. The maximum levels of specific activity of ^{90}Sr in milk were more than 400 times lower than the SanPiN standard (25 Bq/kg), and for ^{137}Cs (standard 100 Bq/kg) this difference was 600 times. Vegetable crops were characterized by minimal transfer factors (TFs) of radionuclides. TFs of ^{90}Sr in vegetables, depending on the product type, was in the range of 0.04-0.17, and for ^{137}Cs it was in the range of 0.008-0.2 (Bq/kg)/(kBq/m²). Maximum TFs of radionuclides were noted in grasses. TF of ^{90}Sr in natural and perennial grass was 0.75-2.2, and for ^{137}Cs it was 0.28-0.86 (Bq/kg)/(kBq/m²). The differences in transition factors between vegetables and grass reached 50 times, and on average, they were 10-20 times. It was noted that all types of crops accumulated ^{90}Sr on average 2-5 times more in comparison to ^{137}Cs ac-

Aleksey V. Panov

All Russian Institute of radiology and agroecology

Address for correspondence: Kiev highway, 109 km, Obninsk, Kaluga Region, 249032, Russia; E-mail: riar@mail.ru

accumulation. It was shown that the content of artificial radionuclides in the water of the Tsymlyansk reservoir is 163 and 183 times lower than the permissible level for ^{90}Sr and ^{137}Cs , respectively. The analysis of 18-year results of observations of the radioecological situation in the vicinity of the Rostov NPP allows to conclude that the operation of this NPP in normal mode and the commissioning of new power-generating units did not lead to a recorded increase in the content of artificial radionuclides in agricultural products, foodstuffs and environmental objects.

Key words: nuclear power plant, radioecological monitoring, radiation safety, radionuclides, agricultural products, foodstuffs, terrestrial agrarian ecosystems, freshwater ecosystems.

References

1. Aleksakhin R.M. Topical environmental problems of nuclear power. *Atomnaya energiya* = Atomic Energy, 2013; 114(5): 243-248. (In Russian).
2. Bolshov L.A., Arutyunyan R.V., Linge I.I., Kazakov S.V. Ecological safety of atomic energy and fuel cycles. *Byulleten po atomnoy energii* = Atomic Energy Bulletin, 2004; 5: 61-65. (In Russian).
3. Organization of state radioecological monitoring of agroecosystems in the zone of exposure to radiation-hazardous objects. MU-13.5.13-00. (adopted of the Agricultural Ministry of Russia 7 august 2000) – Moscow, 2000, 28 p. (In Russian).
4. Radiation ecological situation and the socio-economic situation of Rostov (Volgodonsk NPP). Obninsk, VNIISHRAE, 2008, 37 p. (In Russian).
5. Methods of organizing and conducting agroecological monitoring of agricultural land in areas of industrial pollution and the assessment of the ecological situation in agriculture in the regions where NPPs are located and the territories affected by the Chernobyl NPP accident. Ed. by N.I. Sanzharova. Obninsk, VNIISHRAE, 2010, 276 p. (In Russian).
6. United Nations, Sources and Effects of Ionizing Radiation (Report to the General Assembly with Scientific Annexes). Volume 1 Sources. Annex B, Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), UN, New York. 2000, pp. 84-156.
7. Avetisyan S.R., Buraeva E.A., Goncharenko A.A., Davydenko A.M., Dergacheva E.V., Nefedov V.S., Stasov V.V., Tribolina A.N. Natural and artificial radionuclides in the plants of the Rostov region. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya* = Modern problems of science and education, 2015; 2: 533 (In Russian).
8. Malaeva T.Yu. Radiation control of Rostov NPP region. *Globalnaya yadernaya bezopasnost* = Global nuclear safety, 2012; 4(5): 7-13 (In Russian).
9. Prokopenko S.I., Barkovsky A.N., Golikov V.Yu., Kalinina M.V. Soloviev M.Yu. Evaluation of the radiation situation in the observation area of the Volgodonsk nuclear power plant during 2007-2009. *Radiatsionnaya gigiena* = Radiation Hygiene, 2010; 3(3): 47-50 (In Russian).
10. Soloviev M.Yu., Kalinina M.V. Zhukova T.V. System of radiation hygienic monitoring and radiation hygienic passportization within the territory of the Rostov region. *Radiatsionnaya gigiena* = Radiation Hygiene, 2010; 3(1): 40-44 (In Russian).
11. Shandala N.K., Korenkov I.P., Romanov V.V. Radiation situation at the NPP Area. *Meditinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost* = Medical radiology and Radiation safety, 2015; 60(2): 15-21 (In Russian).
12. Sharpan L.A., Karpenko E.I., Spiridonov S.I. Estimation of irradiation doses to the population from the atmospheric releases of the Rostov NPP. *Atomnaya Energiya* = Atomic Energy, 2013; 115(3): 163-166 (In Russian).
13. Spiridonov S.I., Karpenko Ye.I., Sharpan L.A. Ranking of radionuclides and pathways according to their contribution to the dose burden to the population resulting from NPP releases. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya* = Radiation biology. Radioecology, 2013; 53(4): 401-410 (In Russian).

Received: April 19, 2019

For correspondence: Aleksey V. Panov – Doctor of Biological Sciences, Professor of Russian Academy of Sciences, Deputy Director of All Russian Institute of radiology and agroecology (Kiev highway, 109 km, Obninsk, Kaluga Region, 249032, Russia; E-mail: riar@mail.ru)

Nizametdin N. Isamov – Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher of All Russian Institute of radiology and agroecology, Obninsk, Russia

Vladimir K. Kuznetsov – Doctor of Biological Sciences, principal researcher of All Russian Institute of radiology and agroecology, Obninsk, Russia

For citation: Panov A.V., Isamov N.N., Kuznetsov V.K. Radioecological monitoring in the vicinity of Rostov NPP. The analysis of results of long-term investigations. *Radiatsionnaya Gygiena* = Radiation Hygiene, 2019, Vol. 12, No. 2 (special issue), pp. 54-65. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426x-2019-12-2s-54-65.

Закономерности формирования и прогноз доз внутреннего облучения населения Российской Федерации и его критических групп в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС

Г.Я. Брук, А.Б. Базюкин, А.А. Братилова, В.А. Яковлев

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

Статья посвящена закономерностям формирования доз внутреннего облучения взрослого населения за счет потребления основных дозообразующих пищевых продуктов в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС. На примере Брянской и Тульской областей выполнена оценка эффективных периодов полураспада основных дозообразующих пищевых продуктов (молока и грибов) от ^{137}Cs , а также периодов полуснижения средних годовых эффективных доз внутреннего облучения, нормированных на плотность загрязнения почвы ^{137}Cs в соответствующий год (по данным СИЧ-измерений). Полученные результаты позволили выполнить прогноз доз облучения населения 14 субъектов Российской Федерации на период до 2056 г.

Ключевые слова: Чернобыльская АЭС, радиоактивное загрязнение, цезий-137, доза облучения, коэффициент перехода.

Введение

Авария на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС) является самой масштабной радиационной катастрофой в мире. В результате теплового взрыва и выброса в атмосферу продуктов деления ядерного топлива радиоактивному загрязнению подверглись значительные территории. Только в Российской Федерации к зонам радиоактивного загрязнения (с плотностью загрязнения почвы цезием-137 более 37 Бк/м² в 1991 г.) было отнесено 4540 населенных пунктов (НП). По состоянию на 2019 г. к зонам радиоактивного загрязнения относятся 3855 НП, в которых проживает более 1,5 млн человек¹.

Наиболее сильно загрязнена Брянская область: так, в Краснореченском районе до сих пор есть населенные пункты с плотностью загрязнения почвы цезием-137 более 1,5 МБк/м². К зонам радиоактивного загрязнения в Брянской области относятся 749 НП. Значительно пострадали также Тульская, Калужская и Орловская области. Кроме этих четырех областей, еще в 10 субъектах

Российской Федерации имеются населенные пункты, расположенные в зонах радиоактивного загрязнения.

Вопросам исследования закономерностей формирования и прогноза доз² облучения населения в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС был посвящен целый ряд публикаций [1–10].

Цель исследования – изучение закономерностей формирования доз внутреннего облучения взрослых жителей Брянской и Тульской областей, характеризующихся преобладанием дерново-подзолистых и черноземных почв соответственно, в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС и прогноз доз внутреннего облучения населения 14 пострадавших субъектов Российской Федерации на период до 2056 г.

Задачи исследования

1. Анализ данных радиационного мониторинга на территориях Брянской и Тульской областей, включаю-

¹ Постановление Правительства РФ от 08.10.2015 № 1074 «Об утверждении перечня населенных пунктов, находящихся в границах зон радиоактивного загрязнения вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС» [The decree of the Government of the Russian Federation #1074, 08.10.2015 "On the establishment of the list of the residential areas inside the boundaries of the zones radioactively contaminated due to the Chernobyl NPP accident"]

² Здесь и далее под дозами облучения следует понимать дозы, обусловленные радиоактивными выпадениями вследствие аварии на Чернобыльской АЭС [Here and after the term "dose" corresponds to the doses from the radioactive fallouts due to the Chernobyl NPP accident]

Брук Геннадий Яковлевич

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: Gen-Bruk@yandex.ru

щий в себя определение содержания ^{137}Cs в пищевых продуктах.

2. Анализ результатов измерений содержания ^{137}Cs в организме жителей Брянской области.

3. Уточнение параметров модели прогноза доз внутреннего облучения населения и его критических (наиболее облучаемых) групп.

4. Прогноз доз облучения населения и его критических групп, проживающих на радиоактивно загрязненных вследствие аварии на Чернобыльской АЭС территориях Российской Федерации, на период до 2056 г.

Материалы и методы

Измерения содержания ^{137}Cs в организме жителей на счетчиках (спектрометрах) излучения человека (СИЧ), отбор проб пищевых продуктов, их предварительная подготовка к радиохимическому и гамма-спектрометрическому анализу на содержание ^{137}Cs проводились нами в соответствии с методическими рекомендациями 2.6.1.0006-10 «Проведение комплексного экспедиционного радиационно-гигиенического обследования населенного пункта для оценки доз облучения населения»³.

В качестве СИЧ мы использовали портативные сцинтилляционные спектрометры «DigiDART» производства фирмы ORTEC, USA, с детектором NaI(Tl) 75×75 мм.

В положении обследуемого «сидя» детектор располагали торцом к нижней части живота. Измеряли количество импульсов в энергетическом диапазоне гамма-излучения 585–725 кэВ («окно» ^{137}Cs). Время измерения – 100 с, относительная погрешность – до 30%. Минимальная детектируемая активность (МДА) при использовании детекторов размером 75×75 мм составляла около 700 Бк ^{137}Cs в теле человека при проведении измерений в кирпичных помещениях, характеризующихся низким гамма-фоном.

Анализ проб пищевых продуктов на содержание ^{137}Cs гамма-спектрометрическим методом выполняли на гамма-спектрометрах со сцинтилляционным или полупроводниковым детектором. МДА для таких приборов обеспечивала возможность определения ^{137}Cs в пробах на уровне от 10 Бк/кг и ниже.

Если предполагалось, что активность радионуклида в исходной пробе окажется меньше МДА, выполняли либо отбор пробы в объеме, большем, чем рекомендованный в п. 5.2.2 методических рекомендаций 2.6.1.0006-10, и проводили предварительное концентрирование пробы (выпаривание, сушка, озоление) с ее последующим повторным гамма-спектрометрическим анализом, либо радиохимический анализ пробы по стандартным методикам [11, 12].

В рамках работ по федеральной целевой программе «Преодоление последствий радиационных аварий на период до 2015 года» и «Программа совместной деятельности по преодолению последствий чернобыльской

катастрофы в рамках Союзного государства на период до 2016 года», учреждения Роспотребнадзора отбирали пробы пищевых продуктов и проводили исследования по определению содержания в них ^{137}Cs . Для выполнения задач, поставленных в настоящей работе, были использованы данные мониторинга содержания радионуклидов в основных дозообразующих пищевых продуктах (молоке и грибах), произведенных и собранных за период 1987–2016 гг. на территориях Брянской области с плотностью загрязнения почвы ^{137}Cs в 1986 г. от 5 до 30 Ки/км² (где фактически не применялись контрмеры) и на всех радиоактивно загрязненных территориях Тульской области. Всего было отобрано и исследовано 7201 проба молока и 10 505 проб грибов в Брянской области, а в Тульской – 615 проб молока и 221 проба грибов. В отобранных пробах определяли удельную активность ^{137}Cs . Анализы выполнялись в испытательной лаборатории ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева и в испытательном лабораторном центре ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Брянской области». Все результаты определения удельной активности ^{137}Cs в пробах молока были получены с помощью радиохимических методов анализа, а в пробах грибов – с использованием как гамма-спектрометрических, так и радиохимических методов.

Общее количество использованных в настоящей работе данных СИЧ-измерений, выполненных нами в 170 населенных пунктах Брянской области в период 1987–2016 гг. на территориях с плотностью загрязнения почвы ^{137}Cs в 1986 г. от 5 до 30 Ки/км² (где фактически не применялись контрмеры), составляет 14 663.

Методические указания МУ 2.6.1.2222-07⁴ «Прогноз доз облучения населения радионуклидами цезия и стронция при их попадании в окружающую среду», утвержденные в 2007 г., определяют требования к необходимым исходным данным и процедуру расчета прогнозируемых эффективных доз облучения жителей населенных пунктов Российской Федерации, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие выброса в окружающую среду радионуклидов цезия и стронция (^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{90}Sr).

В соответствии с МУ 2.6.1.2222-07 основными параметрами, определяющими порядок расчета прогнозируемых доз внутреннего облучения в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС, являются «медленные» эффективные периоды полуочищения основных дозообразующих пищевых продуктов (молока и грибов) от ^{137}Cs за счет радиоактивного распада последнего и природного самоочищения данных продуктов со временем от этого химического элемента и эффективное годовое потребление молока и грибов лесных (дозовые эквиваленты потребления сельскохозяйственных и природных пищевых продуктов) взрослыми жителями европейской части России.

³ Методические рекомендации МР 2.6.1.0006-10 «Проведение комплексного экспедиционного радиационно-гигиенического обследования населенного пункта для оценки доз облучения населения». М., 2010. [Methodical guidelines MR 2.6.1.0006-10 "Conduction of a complex expeditionary radiation-hygienic survey of a residential area for the assessment of the doses to the public", Moscow, 2010]

⁴ Методические указания МУ 2.6.1.2222-07 «Прогноз доз облучения населения радионуклидами цезия и стронция при их попадании в окружающую среду». М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2007 [Methodical guidelines MU 2.6.1.2222-07 "Estimate of the doses to the public from the radionuclides of strontium and cesium in the environment" Rospotrebnadzor, Moscow, 2007]

Результаты и обсуждение

Согласно таблице 6.6 МУ 2.6.1.2222-07, «медленные» эффективные периоды получищения основных дозообразующих пищевых продуктов (молока и грибов) от ^{137}Cs составляют 15 и 17 лет соответственно.

С даты утверждения МУ 2.6.1.2222-07 прошло уже 12 лет, и количественные характеристики основных параметров дозиметрических моделей, используемых в расчетах, в том числе численные значения эффективного годового потребления молока и грибов лесных и «медленных» эффективных периодов получищения молока и грибов от ^{137}Cs , могли измениться. Поэтому для решения поставленных в данной работе задач необходимо было в первую очередь выявить эти изменения и скорректировать прогнозируемые дозы облучения населения на период до 2056 г.

На рисунке 1 приведена динамика изменения коэффициентов перехода (КП) ^{137}Cs из почвы в молоко за период 1987–2016 гг. для территорий Брянской области, где преобладают дерново-подзолистые песчаные и супесчаные почвы, с плотностью загрязнения почвы ^{137}Cs в 1986 г. от 5 до 30 Ки/км² (где фактически не применялись контрмеры). Мы не использовали данные 1986 г. по молоку, чтобы исключить влияние на итоговые результаты наличия в выпадениях короткоживущих радионуклидов и поверхностного загрязнения растительности выпавшими радионуклидами.

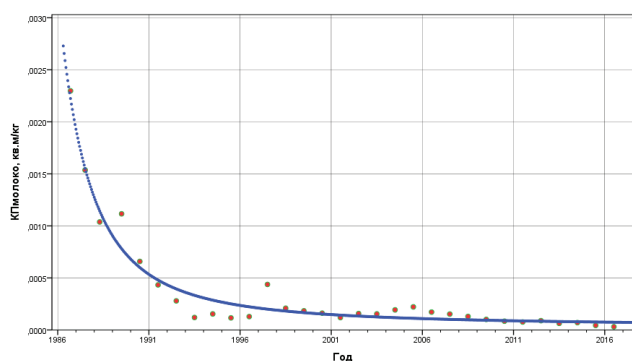


Рис. 1. Динамика изменения коэффициентов перехода ^{137}Cs из почвы в молоко ($\text{КП}_{\text{молоко}}$) за период 1987–2016 гг. (Брянская область)

[Fig. 1. Dynamics of the change in the transfer factors of ^{137}Cs from soil to milk (TF_{milk}) in 1987–2016 (Bryansk region)]

В общем виде формула для расчета коэффициентов перехода ^{137}Cs из почвы в молоко ($\text{КП}_{\text{молоко}}$) за период 1987–2016 гг. в Брянской области аппроксимируется следующей функцией:

$$\text{КП}_{\text{молоко}} = a \times \exp(-0,693 \times (\text{Год} - 1986) / T_1) + c \times \exp(-0,693 \times (\text{Год} - 1986) / T_2), \quad (1)$$

где:

$a = (0,00145 \pm 0,0002)$, м²/кг; $T_1 = (1,8 \pm 0,5)$, лет;
 $c = (0,00023 \pm 0,00004)$, м²/кг; $T_2 = (21 \pm 5)$, лет.

Коэффициент детерминации R^2 составляет 0,89.

Формула для расчета коэффициентов перехода ^{137}Cs из почвы в грибы ($\text{КП}_{\text{грибы}}$) в Брянской области аппроксимируется функцией:

$$\text{КП}_{\text{грибы}} = a \times \exp(-0,693 \times (\text{Год} - 1986) / T), \quad (2)$$

где:

$a = (0,014 \pm 0,002)$, м²/кг; $T = (19 \pm 6)$, лет.

Коэффициент детерминации R^2 составляет 0,33.

Таким образом, в настоящее время «медленные» периоды полуснижения $\text{КП}_{\text{молоко}}$ и $\text{КП}_{\text{грибы}}$ составляют 21 и 19 лет соответственно, а «медленные» эффективные периоды получищения молока и грибов от ^{137}Cs составляют около 12 лет, что несколько отличается в меньшую сторону от значений, приведенных в таблице 6.6 МУ 2.6.1.2222-07.

На рисунке 2 приведена динамика изменения средних годовых эффективных доз внутреннего облучения населения E_{int} , проживающего на территориях с плотностью загрязнения почвы ^{137}Cs в 1986 г. от 5 до 30 Ки/км² (где фактически не применялись контрмеры), нормированных на плотность загрязнения почвы ^{137}Cs в соответствующий год (по данным выполненных нами СИЧ-измерений жителей Брянской области за период 1987–2016 гг.). При этом, чтобы исключить случайные выбросы, из всех имеющихся результатов по каждому году удалены данные со значениями, выходящими за пределы интервала $\ln(E_{\text{int}}) + \ln(2\sigma) < \ln(E_{\text{int}}) < \ln(E_{\text{int}}) - \ln(2\sigma)$, где σ – стандартное отклонение.

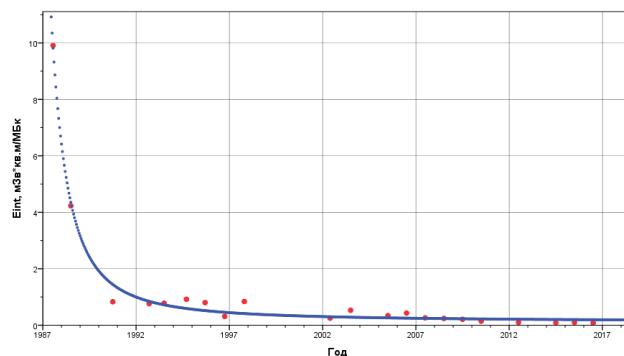


Рис. 2. Динамика средних годовых эффективных доз внутреннего облучения (E_{int}) жителей Брянской области за период 1987–2016 гг., нормированных на плотность загрязнения почвы ^{137}Cs в соответствующий год

[Fig. 2. Dynamics of the average annual effective doses from the internal exposure (E_{int}) of the residents of Bryansk region in 1987–2016, normalized by the contamination density of the soil by ^{137}Cs in the corresponding year]

В общем виде формула для расчета E_{int} за период 1987–2016 гг. в Брянской области аппроксимируется следующей функцией:

$$E_{\text{int}} = a \times \exp(-0,693 \times (\text{Год} - 1986) / T_1) + c \times \exp(-0,693 \times (\text{Год} - 1986) / T_2), \quad (3)$$

где:

$a = (34 \pm 2)$, мЗв $\times$ м² $\times$ МБк⁻¹; $T_1 = (0,6 \pm 0,1)$, лет;

$c = (1,3 \pm 0,4)$, мЗв $\times$ м² $\times$ МБк⁻¹; $T_2 = (15 \pm 3)$, лет.

Коэффициент детерминации R^2 составляет 0,95.

Таким образом, по данным СИЧ-измерений, «медленный» период полуснижения средних годовых эффективных доз внутреннего облучения жителей Брянской области, нормированных на плотность загрязнения почвы ^{137}Cs в соответствующий год, составляет около 15 лет, а

с учетом радиоактивного распада последнего – около 10 лет (это по сути «медленный» эффективный период полуснижения доз внутреннего облучения жителей, то есть параметр, необходимый для расчета прогнозируемых доз), что достаточно близко к «медленным» эффективным периодам полуочищения молока и грибов от ^{137}Cs .

Обработку всех имеющихся результатов по молоку, грибам и СИЧ-измерениям проводили с использованием пакета прикладных программ статистической обработки данных IBM SPSS Statistics.

Для территорий Тульской области, где преобладают черноземные почвы, «медленный» период полуснижения КП_{молоко} составляет 8,7 лет, а «медленный» эффективный период полуочищения молока от ^{137}Cs составляет 6,7 года, что почти в 2 раза отличается в меньшую сторону от значений, приведенных для Брянской области. Возможно, это связано с относительно небольшим количеством имеющихся результатов по сравнению с Брянской областью и их близостью к МДА, а также более быстрым заглублением ^{137}Cs в почву на территориях Брянской области, характеризующихся бедными дерново-подзолистыми песчаными и супесчаными почвами, и его уходом из верхних (корневых) слоев.

На рисунке 3 приведена динамика изменения коэффициентов перехода (КП) ^{137}Cs из почвы в молоко за период 1993–2013 гг. для территорий Тульской области.

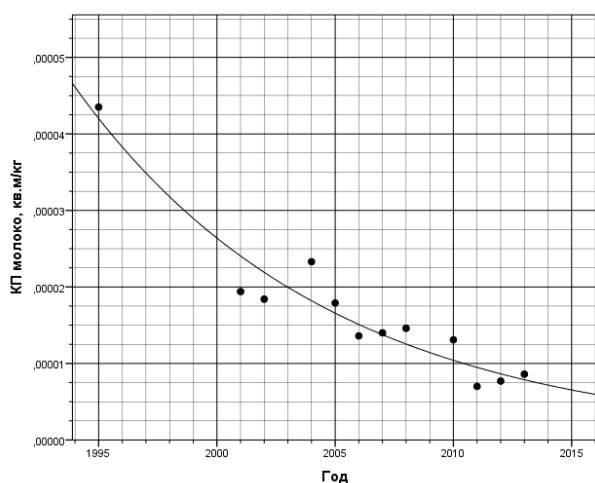


Рис. 3. Динамика изменения коэффициентов перехода ^{137}Cs из почвы в молоко (КП_{молоко}) за период 1995–2013 гг. (Тульская область)

[Fig. 3. Dynamics of the changes in the transfer factors of ^{137}Cs from soil to milk (TF_{milk}) in 1995–2013 (Tula region)]

В общем виде формула для расчета коэффициентов перехода ^{137}Cs из почвы в молоко (КП_{молоко}) за период

1995–2013 гг. в Тульской области аппроксимируется следующей функцией:

$$A = 0,000094 \cdot \exp(-0.693 \cdot (\text{Год} - 1986) / 7,5 (4))$$

Коэффициент детерминации R^2 составляет 0,92.

«Медленный» эффективный период полуочищения грибов от ^{137}Cs за счет радиоактивного распада последнего и природного самоочищения данного продукта со временем от этого химического элемента также отличается в меньшую сторону от значений, приведенных для Брянской области.

В таблице 1 приведено эффективное годовое потребление молока и грибов лесных (дозовые эквиваленты потребления сельскохозяйственных и природных пищевых продуктов) взрослыми жителями европейской части России.

Таблица 1

Эффективное годовое потребление молока и грибов лесных (дозовые эквиваленты потребления сельскохозяйственных и природных пищевых продуктов) взрослыми жителями европейской части России, кг/год

[Table 1]

Effective annual consumption of milk and forest mushrooms (dose equivalents of the consumption of agricultural and natural food products) by the adult residents of European part of Russia, kg/year]

Продукт [Product]	Тип НП [Type of residential area]		
	НП с количеством жителей менее 10 тысяч человек [<10000 inhabitants]	НП с количеством жителей от 10 до 100 тысяч человек [10000-100000 inhabitants]	НП с количеством жителей более 100 тысяч человек [>100000 inhabitants]
Молоко [Milk]	170/300	140/250	110/200
Грибы (сырой вес) [Mushrooms (raw weight)]	9/10	7/8	5/5

В числителе – в соответствии с МУ 2.6.1.3152-13; в знаменателе – в соответствии с табл. 6.4 МУ 2.6.1.2222-07.

[Note: in numerator – according to MU 2.6.1.3152-13; in denominator – according to the table 6.4 of MU 2.6.1.2222-07].

Для расчета прогнозируемых доз мы использовали результаты, приведенные в методических указаниях МУ 2.6.1.3152-13⁵, которые оказались также близки к приведенным в статье [13].

Из данных таблицы 1 следует, что в настоящее время эффективное годовое потребление грибов уменьшилось незначительно, а молока – снизилось в 1,8 раза.

Используя полученные результаты, можно выполнить расчет прогнозируемых средних годовых эффектив-

⁵ Методические указания МУ 2.6.1.3152-13 «Изменения № 1 к 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». Роспотребнадзор, 2013. [Methodical guidelines MU 2.6.1.3152-13 “Adjustment № 1 to the MU 2.6.1.2003-05 “Assessment of the average annual effective doses of the critical groups of the public living on the territories of Russian Federation radioactively contaminated due to the Chernobyl NPP accident”, Rosпотребнадзор, 2013]

ных доз внутреннего облучения населения Российской Федерации в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС на период до 2056 г.

Что касается прогноза средних годовых эффективных доз внешнего облучения, то, по мнению автора работы [14], пока нет существенных оснований для внесения изменений в методические указания МУ 2.6.1.2222-07 «Прогноз доз облучения населения радионуклидами цезия и стронция при их попадании в окружающую среду», утвержденных в 2007 г.

Таким образом, с использованием всех полученных в настоящей работе результатов можно не только выполнить расчет прогнозируемых средних годовых эффективных доз внутреннего облучения населения, но и дать прогноз суммарных доз (внутреннее + внешнее облучение).

При этом из консервативных соображений для расчетов в качестве «медленных» эффективных периодов получения молока и грибов от ^{137}Cs мы будем использовать численные значения, полученные нами для Брянской области.

В таблице 2 приведено распределение населенных пунктов Брянской области, отнесенных к зонам радио-

активного загрязнения, по величине прогнозируемой средней по НП годовой эффективной дозы облучения жителей в разные годы (вплоть до 2056 г.), а в таблице 3 – максимальные прогнозируемые на разные годы средние по НП годовые эффективные дозы облучения жителей, проживающих в населенных пунктах, расположенных на всех остальных радиоактивно загрязненных вследствие аварии на ЧАЭС территориях 13 субъектов Российской Федерации.

В таблице 4 приведено распределение населенных пунктов Брянской области, отнесенных к зонам радиоактивного загрязнения, по величине прогнозируемой средней по НП годовой эффективной дозы облучения критических групп населения в разные годы (вплоть до 2056 г.), а в таблице 5 – максимальные прогнозируемые на разные годы средние по НП годовые эффективные дозы облучения критических групп населения, проживающих в населенных пунктах, расположенных на всех остальных радиоактивно загрязненных вследствие аварии на ЧАЭС территориях 13 субъектов Российской Федерации.

Таблица 2

Распределение населенных пунктов Брянской области, отнесенных к зонам радиоактивного загрязнения, по величине средней по НП прогнозируемой на разные годы годовой эффективной дозы облучения жителей

[Table 2]

Distribution of the Bryansk region settlements referred to the zones of the radioactive contamination by the average settlement prognosed annual effective dose to the public]

Год [Year]	Количество НП, в интервалах доз, мЗв/год [Number of settlements in the dose intervals, mSv/year]			Максимум [Maximum]
	< 0,3	0,3–1,0	≥ 1,0	
	Брянская область [Bryansk region]			
2018	553	180	16	3,3
2026	623	120	6	2,4
2036	691	55	3	1,6
2046	733	15	1	1,1
2056	745	4	–	0,74

Таблица 3

Максимальные прогнозируемые на разные годы средние по НП годовые эффективные дозы облучения жителей, проживающих в населенных пунктах, расположенных на радиоактивно загрязненных вследствие аварии на ЧАЭС территориях 13 субъектов Российской Федерации

[Table 3]

Maximal prognosed average annual effective doses to the public residing in settlements located on the radioactively contaminated due to the Chernobyl NPP accident territories of 13 subjects of the Russian Federation]

Год [year]	Калужская область [Kaluga region]	Орловская область [Orel region]	Тульская область [Tula region]	Другие субъекты РФ [Other subjects of RF]
2018	0,15	0,25	0,35	0,21
2026	0,11	0,17	0,26	0,16
2036	0,075	0,11	0,18	0,11
2046	0,051	0,073	0,12	0,074
2056	0,035	0,048	0,083	0,051

Таблица 4

Распределение населенных пунктов Брянской области, отнесенных к зонам радиоактивного загрязнения, по величине прогнозируемой на разные годы средней по НП годовой эффективной дозы облучения критических групп населения

[Table 4

Distribution of the Bryansk region settlements referred to the zones of the radioactive contamination by the average settlement prognosed annual effective dose to the critical groups of the public]

Год [Year]	Количество НП, в интервалах доз, мЗв/год [Number of settlements in the dose intervals, mSv/year]			Максимум [Maximum]
	< 0,3	0,3–1,0	≥ 1,0	
	Брянская область [Bryansk region]			
2018	372	281	96	6,6
2026	450	258	41	4,7
2036	562	173	14	3,1
2046	649	97	3	2,1
2056	704	44	1	1,4

Таблица 5

Максимальные прогнозируемые на разные годы средние по НП годовые эффективные дозы облучения критических групп населения, проживающих в населенных пунктах, расположенных на радиоактивно загрязненных вследствие аварии на ЧАЭС территориях 13 субъектов Российской Федерации

[Table 5

Maximal prognosed mean annual effective doses to the critical groups of the public residing in settlements located on the radioactively contaminated due to the Chernobyl NPP accident territories of 13 subjects of the Russian Federation]

Год [year]	Калужская область [Kaluga region]	Орловская область [Orel region]	Тульская область [Tula region]	Другие субъекты РФ [Other subjects of RF]
2018	0,29	0,57	0,66	0,39
2026	0,21	0,39	0,49	0,29
2036	0,14	0,25	0,33	0,20
2046	0,096	0,16	0,22	0,14
2056	0,065	0,10	0,15	0,093

Заключение

Исследования закономерностей формирования доз облучения населения радиоактивно загрязненных субъектов Российской Федерации необходимы для уточнения текущих дозовых нагрузок и их прогноза на последующие периоды времени. На примере Брянской и Тульской областей нами выполнена оценка эффективных периодов полураспада основных дозообразующих пищевых продуктов (молока и грибов) от ^{137}Cs , а также периодов полуснижения средних годовых эффективных доз внутреннего облучения населения, нормированных на плотность загрязнения почвы ^{137}Cs в соответствующий год (по данным СИЧ-измерений). Это позволило уточнить параметры модели внутреннего облучения, использованные ранее для расчетов прогнозируемых доз в соответствии с методическими указаниями МУ 2.6.1.2222-07 «Прогноз доз облучения населения радионуклидами цезия и стронция при их попадании в окружающую среду», утвержденными в 2007 г.

Что касается прогноза средних годовых эффективных доз внешнего облучения, то пока нет существенных оснований для внесения изменений в указанный методический документ.

Полученные результаты позволили нам выполнить расчет прогнозируемых доз облучения населения и его критических групп, проживающих на всех радиоактивно загрязненных вследствие аварии на Чернобыльской АЭС территориях 14 субъектов Российской Федерации, на период вплоть до 2056 года, что дает возможность заранее выделить населенные пункты, в которых до определенного момента времени оправдано проведение соответствующих защитных мер, и спланировать предстоящие расходы на их осуществление.

Литература

1. Methodical document «Forecasting doses to the public and its critical groups in the remote period after the Chernobyl accident» developed under the IAEA Project: RER/3/004 «Radiological support for the rehabilitation of areas affected as a result of the accident at the Chernobyl NPP», IAEA, Vienna, 2008.
2. Константинов, Ю.О. Радиационно-гигиенические аспекты преодоления последствий аварии на Чернобыльской АЭС / Ю.О. Константинов, Г.В. Архангельская, К.Г. Андерссон, А.Б. Базюкин, М.И. Балонов, А.Н. Барковский, А.А. Братилова, Г.Я. Брук, Н.М. Вишнякова, В.Ю. Голиков, А.В. Громов, Э.Б. Ершов, Т.В. Жеско, И.А. Звонова, И.А.

- Зыкова, М.В. Кадука, Г.Н. Кайдановский, О.С. Кравцова, А.Н. Либерман, А.С. Мишин, В.И. Пархоменко, А.В. Пономарев, Т.В. Пономарева, О.Н. Прокофьев, В.П. Рамзаев, В.С. Репин, И.К. Романович, И.Г. Травникова, Н.С. Швыдко, В.Н. Шутов, В.А. Яковлев; Под редакцией академика РАН Г.Г. Онищенко и профессора А.Ю. Поповой. – СПб, 2016. – Т.1. – 448 с.
3. Брук, Г.Я. Развитие единой системы оценки и прогноза доз облучения населения, проживающего в реперных населенных пунктах приграничных территорий Союзного государства, пострадавших вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС / Г.Я. Брук, А.А. Братилова, А.В. Громов, Т.В. Жеско, А.Н. Кадука, М.В. Кадука, О.С. Кравцова, И.К. Романович, Н.В. Титов, В.А. Яковлев // Медико-биологические проблемы жизнедеятельности. – 2017. – № 1(17). – С. 168-175.
4. Балонов, М.И. Динамика средних годовых и накопленных доз облучения взрослого населения Российской Федерации после аварии на Чернобыльской АЭС / М.И. Балонов, И.К. Романович, Г.Я. Брук, В.Ю. Голиков, А.Б. Базюкин, А.А. Братилова // Актуальные вопросы радиационной гигиены: Материалы международной научно-практической конференции. – СПб, 2018. – С. 24-29.
5. Брук, Г.Я. Обоснование перечня пострадавших вследствие аварии на ЧАЭС населенных пунктов Российской Федерации, предназначенных к переходу от состояния проживания населения в условиях радиационной аварии к условиям нормальной жизнедеятельности / Г.Я. Брук, А.А. Братилова, А.Б. Базюкин, А.Ю. Власов, Т.В. Жеско, М.В. Кадука, В.А. Яковлев, В.В. Кучумов // Актуальные вопросы радиационной гигиены: Материалы международной научно-практической конференции. – СПб, 2018. – С. 68-72.
6. Власов, О.К. Разработка и верификация метода реконструкции динамики эффективных доз облучения населения РФ после аварии на ЧАЭС / О.К. Власов, Г.Я. Брук, Н.В. Щукина // Радиация и риск. – 2017. – Т. 26, № 3. – С. 28-45.
7. Балонов, М.И. Облучение населения Российской Федерации вследствие аварии на Чернобыльской АЭС / М.И. Балонов, Г.Я. Брук, В.Ю. Голиков, В.Г. Еркин, И.А. Звонова, В.И. Пархоменко, В.Н. Шутов // Бюлл. «Радиация и риск», 1996. – Т. 7. – С. 39-71.
8. Shutov V.N., Bruk G.Ya., Balonov M.I., Parhomenko V.I., Pavlov I.J. Cesium and strontium radionuclide migration in the agricultural ecosystem and estimation doses to the population. The Chernobyl Papers, Vol. 1, Research enterprises, Washington, 1993, pp. 167-218.
9. Shutov V.N., Bruk G.Ya., Basalaeva L.N., Kaduka M.V. Balonov M.I. Dynamics of ¹³⁷Cs transfer from soil into forest mushrooms and berries after the Chernobyl accident. UIR Topical meeting, Mol – Belgium. Book of abstracts, 1998, pp. 48-49.
10. Bruk G.Ya., Shutov V.N., Balonov M.I., Basalaeva L.N., Kislov M.V. Dynamics of ¹³⁷Cs content in agricultural food products produced in regions of Russia contaminated after the Chernobyl accident. Radiat. Prot. Dosimetry, 1998, Vol. 76, No. 3, pp. 169-178.
11. Методические рекомендации по санитарному контролю за содержанием радиоактивных веществ в объектах внешней среды / Под ред. А.Н. Мареев и А.С. Зыковой. – М.: МЗ СССР, 1980. – 88 с.
12. Методика выполнения измерений. Удельная активность цезия-137 и стронция-90 в пробах пищевой и сельскохозяйственной продукции, почвы и других объектов внешней среды. Свидетельство ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» Федерального государственного агентства по техническому регулированию и метрологии № 1730/08 от 08 декабря 2008 г. – 21 с.
13. Братилова, А.А. Влияние потребления различных пищевых продуктов на формирование доз внутреннего облучения взрослого населения Российской Федерации после аварии на Чернобыльской АЭС / А.А. Братилова, Г.Я. Брук // Радиационная гигиена. – 2018. – Т. 11, № 2. – С. 53-59.
14. Голиков, В.Ю. Анализ долгосрочной динамики доз внешнего облучения населения после Чернобыльской аварии / В.Ю. Голиков // Радиационная гигиена. – 2018. – Т. 11, № 4. – С. 39-50.

Поступила: 25.04.2019 г.

Брук Геннадий Яковлевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, 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. **Адрес для переписки:** 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: Gen-Bruk@yandex.ru

Базюкин Анатолий Борисович – кандидат биологических наук, ведущий 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

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

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: Брук Г.Я., Базюкин А.Б., Братилова А.А., Яковлев В.А. Закономерности формирования и прогноз доз внутреннего облучения населения Российской Федерации и его критических групп в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС // Радиационная гигиена. – 2019. – Т. 12, № 2 (Спецвыпуск). – С.66-74. DOI: 10.21514/1998-426X-2019-10-2s-66-74.

Trends of development and prediction of the doses from the internal exposure of the public of the Russian Federation and its critical groups in the distant post-Chernobyl NPP accident period

Gennadiy Ya. Bruk, Anatoliy B. Bazyukin, Anzhelika A. Bratilova, Vyacheslav A. Yakovlev

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

An article is devoted to the peculiarities of exposure doses forming of adult population due to the main dose-forming foodstuffs in the remote period after Chernobyl accident. On an example of the Bryansk and Tula regions, we carried out the assessment of the effective purification half-periods of the main dose-forming food products (milk and mushrooms) from ^{137}Cs due to its radioactive decay and natural self-purification and the assessment of the periods of half-reduction of the average annual effective internal doses for the population of the Bryansk region divided on the ^{137}Cs soil surface activity actual in the corresponding year (based on whole body measurements data). Obtained results allowed fulfilling the prognosis of the internal doses for the population of the Bryansk region for the time period up to 2056.

Key words: Chernobyl NPP, radioactive contamination, ^{137}Cs , exposure dose, transfer factor.

References

1. Methodical document «Forecasting doses to the public and its critical groups in the remote period after the Chernobyl accident» developed under the IAEA Project: RER/3/004 «Radiological support for the rehabilitation of areas affected as a result of the accident at the Chernobyl NPP», IAEA, Vienna, 2008.
2. Konstantinov Yu.O., Arkhangelskaya G.V., Andersson K.G., Bazyukin A.B., Balonov M.I., Barkovsky A.N., Bratilova A.A., Bruk G.Ya., Vishnyakova N.M., Golikov V.Yu., Gromov A.V., Ershov E.B., Zhesko T.V., Zvonova I.A., Zyкова I.A., Kaduka M.V., Kaydanovsky G.N., Kravtsova O.S., Liberman A.N., Mishin A.S., Parkhomenko V.I., Ponomarev A.V., Ponomareva T.V., Prokofyev O.N., Ramzaev V.P., Repin V.S., Romanovich I.K., Travnikova I.G., Shvydko N.S., Shutov V.N., Yakovlev V.A. Radiological and hygienic issues of the Chernobyl NPP accident consequences. Saint-Petersburg, 2016, Vol. 1, 448 p. (In Russian)
3. Bruk G.Ya., Bratilova A.A., Gromov A.V., Zhesko T.V., Kaduka A.N., Kaduka M.V., Kravtsova O.S., Romanovich I.K., Titov N.V., Yakovlev V.A. Development of the joint system of the assessment and estimate of the doses to the public residing the control settlements in the border territories of the Union state, affected by the Chernobyl NPP accident. Mediko-biologicheskiye problemy zhiznedeyatel'nosti = Medical and Biological Problems of Life Activity, 2017, no 1(17), pp. 168-175. (In Russian)
4. Balonov M.I., Romanovich I.K., Bruk G.Ya., Golikov V.Yu., Bazyukin A.B., Bratilova A.A. Trends of the mean annual and accumulated doses to the adult population of the Russian Federation after the Chernobyl NPP accident. Actual issues of the radiation hygiene: proceedings of the international scientific-practical conference. Actual issues of radiation hygiene, St-Petersburg, 2018, pp. 24-29. (In Russian)
5. Bruk G.Ya., Bratilova A.A., Bazyukin A.B., Vlasov A.Yu., Zhesko T.V., Kaduka M.V., Yakovlev V.A., Kuchumov V.V. Justification of the list of the settlements of the Russian Federation affected by Chernobyl NPP accident for the transition from the radiation accident conditions to the normal life conditions. Actual issues of the radiation hygiene: proceedings of the international scientific-practical conference. Actual issues of radiation hygiene, St-Petersburg, 2018, pp. 68-72. (In Russian)
6. Vlasov O.K., Bruk G.Ya., Shchukina N.V. Development and verification of the method of reconstruction of the effective doses of the public of the Russian Federation after the Chernobyl NPP accident. Radiatsiya i risk = Radiation and risk, 2017, no 26(3), pp. 28-45. (In Russian)
7. Balonov M.I., Bruk G.Ya., Golikov V.Yu., Erkin V.G., Zvonova I.A., Parkhomenko V.I., Shutov V.N. Exposure of the public of the Russian Federation due to the Chernobyl NPP accident. Radiatsiya i risk = Radiation and risk, 1996, no. 7, pp. 39-72. (In Russian)
8. Shutov V.N., Bruk G.Ya., Balonov M.I., Parkhomenko V.I., Pavlov I.J. Cesium and strontium radionuclide migration in the agricultural ecosystem and estimation doses to the population. The Chernobyl Papers, Vol. 1, Research enterprises, Washington, 1993, pp. 167-218.
9. Shutov V.N., Bruk G.Ya., Basalaeva L.N., Kaduka M.V., Balonov M.I. Dynamics of ^{137}Cs transfer from soil into forest mushrooms and berries after the Chernobyl accident. UIR Topical meeting, Mol – Belgium. Book of abstracts, 1998, pp. 48-49.
10. Bruk G.Ya., Shutov V.N., Balonov M.I., Basalaeva L.N., Kislov M.V. Dynamics of ^{137}Cs content in agricultural food products produced in regions of Russia contaminated after the Chernobyl accident. Radiat. Prot. Dosimetry, Vol. 76, No. 3, 1998, pp. 169-178.
11. Methodical guidelines on the sanitary control of the content of the radioactive substances in the objects of the environment. Ed. By A.N. Marey and A.S. Zyкова. M.: MZ USSR, 1980, 88 p. (In Russian)
12. Method of measurement. Volume activity of ^{137}Cs and ^{90}Sr in samples of food and agricultural products, soil and other objects of the environment. Certificate of FGUP «VNIIM after D.I. Mendeleev» of the Federal state agency on technical regulation and metrology № 11730/08, 08.12.2008, 21 p. (In Russian)

Gennadiy Ya. Bruk

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

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

13. Bratilova A.A., Bruk G.Ya. Influence of the consumption of different foodstuffs on the internal exposure dose formation in the adult population of the Russian Federation after the accident at the Chernobyl NPP. Radiatsionnaya gygiena = Radiation Hygiene, 2018, No 11(2), pp. 53-59. (In Russian)
14. Golikov V.Yu. Analysis of the long-term dynamics of external doses of the population after the Chernobyl accident. Radiatsionnaya gygiena = Radiation Hygiene, 2018, No 11(4), pp. 39-50. (In Russian)

Received: April 25, 2019

For correspondence: 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 (Mira str., 8, St.-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: gen-bruk@yandex.ru)

Anatoliy B. Bazyukin – Leading scientist, 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, Saint-Petersburg, Russia

Anzhelika A. Bratilova – Scientist, 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, Saint-Petersburg, Russia

Vyacheslav A. Yakovlev – Scientist, 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, Saint-Petersburg, Russia

For citation: Bruk G.Ya., Bazyukin A.B., Bratilova A.A., Yakovlev V.A. Trends of development and prediction of the doses from the internal exposure of the public of the Russian Federation and its critical groups in the distant post-Chernobyl NPP accident period. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene, 2019, Vol. 12, No. 2 (special issue), pp. 66-74. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426x-2019-12-2s-66-74.

²⁴¹Am на территориях, прилегающих к белорусскому сектору зоны отселения Чернобыльской АЭС: загрязнение почв, продуктов питания и оценка доз внутреннего облучения населения

Е.К. Нилова¹, В.Н. Бортновский², С.А. Тагай³, Н.В. Дударева³, Л.В. Жукова³

¹ Центр по ядерной и радиационной безопасности МЧС Республики Беларусь, Минск, Беларусь

² Гомельский государственный медицинский университет, Гомель, Беларусь

³ Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси, Гомель, Беларусь

²⁴¹Am является единственным радионуклидом чернобыльских радиоактивных выпадений, содержание которого в окружающей среде до 2058 г. продолжает возрастать. Целью настоящей работы являлась оценка доз внутреннего облучения ²⁴¹Am жителей населенных пунктов на территории, прилегающей к зоне отселения Чернобыльской АЭС. Для достижения цели были установлены современные уровни содержания ²⁴¹Am и сопутствующего ¹³⁷Cs в почве и продуктах питания на частных подворьях Брагинского района Гомельской области Беларуси. Содержание ²⁴¹Am ($E_\gamma=59,6$ кэВ) в почве и ¹³⁷Cs ($E_\gamma=661$ кэВ) в почве/продуктах определяли методом гамма-спектрометрии. Определение удельной активности ²⁴¹Am в пробах продуктов питания выполнялось радиохимическим методом с использованием селективных экстракционно-хроматографических смол. При среднем уровне $1,3$ кБк/м² максимальная плотность загрязнения почвы ²⁴¹Am может достигать $3,6$ кБк/м², а для сопутствующего ¹³⁷Cs — на $1-2$ порядка величины выше и варьирует в пределах от 50 кБк/м² до 350 кБк/м². Максимальная удельная активность ²⁴¹Am в продуктах установлена в пробах листовой зелени петрушки — 33 мБк/кг, а в пробах картофеля, свеклы, лука (перо) не превышала 5 мБк/кг. Содержание сопутствующего ¹³⁷Cs в пробах растительной продукции находилось в пределах $3-12$ Бк/кг. В расчетах оценки ожидаемой дозы внутреннего облучения по пищевой цепочке консервативно принималось, что все основные компоненты рациона население получает на личном подворье. Расчет дозы внутреннего облучения при ингаляции произведен в предположении, что жители подворья выполняют работы на приусадебном участке 4 ч в день в течение 7 месяцев. В суммарной ожидаемой дозе внутреннего облучения от ²⁴¹Am жителей подворья преобладает ингаляционная составляющая, тогда как пероральный путь является доминирующим в формировании суммарной дозы внутреннего облучения от сопутствующего ¹³⁷Cs, которая в 20 и более раз превышает таковую дозу от ²⁴¹Am.

Ключевые слова: ²⁴¹Am, ¹³⁷Cs, плотность загрязнения почвы, удельная активность, население, продукты питания, ингаляция, доза внутреннего облучения.

Введение

В радиоактивных выпадениях чернобыльского генезиса, кроме α -излучающих изотопов плутония, присутствовал также β -излучающий изотоп — ²⁴¹Pu ($T_{1/2} = 14,3$ лет), который составлял около 98% (по активности) от суммы изотопов плутония [1, 2]. Согласно оценкам доклада Генассамблеи Научного комитета ООН по действию атомной радиации (UNSCEAR 2008), начальная активность ²⁴¹Pu в составе выбросов ЧАЭС составляла $2,6$ ПБк. Дочерним продуктом распада ²⁴¹Pu является радионуклид ²⁴¹Am. Продолжительный период полураспада ²⁴¹Am ($T_{1/2} = 432,2$ лет) с испусканием высокоэнергетических α -частиц ($E=5485,6$ кэВ, $5442,9$ кэВ) определяет возрастающую значимость этого радионуклида при возможном его вовлечении в пищевые цепочки, ведущие непосредственно

к человеку. В настоящее время ²⁴¹Am является единственным радионуклидом из состава чернобыльских радиоактивных выпадений, содержание которого в окружающей среде продолжает возрастать. Максимальная общая активность ²⁴¹Am в окружающей среде ожидается в 2058 г. и будет составлять $0,077$ ПБк, что в 2 раза превысит суммарное количество ²³⁸Pu, ²³⁹Pu и ²⁴⁰Pu в указанное время [2].

Наиболее высокие уровни поверхностного загрязнения почвы изотопами плутония после чернобыльской катастрофы характерны для южных районов Гомельской области Беларуси, часть из которых включены в зону отселения и не используются для проживания [3]. На современном этапе при снижении уровня загрязнения почв ¹³⁷Cs (убыль за счет радиоактивного распада составляет $2,27\%$ год) актуальным является уточнение текущих уров-

Тагай Светлана Алексеевна

Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси

Адрес для переписки: 246000, Гомель, ул. Федюнинского, д. 16; E-mail: lanabuz@tut.by

ней содержания ^{241}Am и оценка его вклада в дозы облучения населения, проживающего на данной территории.

Цель исследования – оценить дозы внутреннего облучения ^{241}Am жителей населенных пунктов на территории, прилегающей к зоне отселения Чернобыльской АЭС.

Задачи исследования

В число задач исследования входило:

- установить современные уровни содержания ^{241}Am и сопутствующего ^{137}Cs в почве и продуктах питания на частных подворьях Брагинского района Гомельской области Беларуси;
- выполнить оценку максимальной ожидаемой годовой дозы внутреннего облучения от ^{241}Am и ^{137}Cs для жителей частных подворий Брагинского района с учетом поступления при ингаляции и по пищевой цепочке.

Материалы и методы

В период 2017–2018 гг. был произведен отбор проб почвы и продуктов питания из частных подворий населенных пунктов на территории радиоактивного загрязнения Брагинского района Гомельской области Беларуси. Для получения сопоставимых результатов применялся унифицированный метод пробоотбора. Отбор проб почвы на участках частных подворий выполняли пробоотборником с грунтоприемной трубой диаметром 3,5 см на глубину пахотного горизонта 20 см. На каждом участке проводили 5 уколов (точечных проб) методом конверта и сформировывали смешанный образец каждой пробы почвы. Площадка отбора каждой точечной пробы выбиралась на ровном открытом месте, не менее 20–30 м от дорог. На выбранных участках отбора проб почвы проводили 3–5 измерений мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения (МЭД) на высоте 1 м от поверхности почвы дозиметром-радиометром МКС-АТ1125 до достижения статистической погрешности не более 15%. На участках частных подворий Брагинского района МЭД составляла 0,07–0,37 мкЗв/ч. Плотность сложения почвы различных участков различна, поэтому в лабораторных условиях определяли объемную плотность каждой пробы почвы.

После транспортировки пробы почвы освобождали от включений (камни, корни) и высушивали до воздушно-сухого состояния. Далее почвенные пробы помещали в сосуды Маринелли объемом 500 см³ с фиксированной высотой заполнения измерительного сосуда для обеспечения унифицированной геометрии измерений. Содержание ^{241}Am ($E_\gamma=59,6$ кэВ) и ^{137}Cs ($E_\gamma=661$ кэВ) в почве определяли методом гамма-спектрометрии с использованием полупроводникового (коаксиального германиевого, серия XtRa) детектора расширенного энергетического диапазона «Canberra-GX3020». Детектор GX3020 имеет тонкий мертвый слой толщиной 0,3 мм, что позволяет в сочетании с бериллиевым окном криостата толщиной 0,5 мм обеспечить регистрацию излучения в диапазоне низких энергий до 3 кэВ. В области 60 кэВ энергетическое разрешение FWHM оставляло 0,87 кэВ, эффективность 0,03 (отн. ед. для геометрии сосудов Маринелли). Защита детектора: наружная стальная оболочка 9,5 мм, свинец 102 мм, внутренние слои олова 1 мм и меди 1,6 мм, что обеспечивает уровень фона 0,017 с⁻¹.

Время измерения в зависимости от активности проб для сведения к минимуму статистической погрешнос-

ти варьировалось от 1 ч до 1 сут. Погрешность 30% для определения ^{241}Am ($E_\gamma=59,6$ кэВ) считалась приемлемой. Контроль качества измерений проводили с использованием аттестованного стандартного образца по удельной активности радионуклидов ^{241}Am и ^{137}Cs .

В целом, почвенные образцы отбирались с территории частных подворий по принципу оптимального охвата площади населенного пункта, т.е. места отбора проб сосредоточены на условно равном расстоянии друг от друга, чтобы получить наиболее адекватную оценку степени загрязненности исследуемого населенного пункта. Всего в Брагинском районе было обследовано 28 населенных пунктов, отобрано и проанализировано 108 проб почвы на территории личных подворий этих пунктов.

Пробы продуктов питания отбирались из двух личных подсобных хозяйств, где установлено максимальное содержание ^{241}Am в пробах почвенных образцов. Отбирались продукты питания в количестве 1 кг каждого основного ингредиента рациона питания жителей населенных пунктов: картофель (2 пробы), зеленные культуры (5 проб), корнеплоды (свекла, 1 проба). Пробы клубне- и корнеплодов подвергались анализу после удаления частиц почвы посредством отмывки водой, но без снятия кожуры. Срез проб листовой зелени (салат, лук, петрушка) производился на высоте 2–3 см от поверхности почвы; и далее, без процедуры очищения водой указанные образцы направлялись на аналитические измерения. Таким образом, предварительная пробоподготовка обеспечивала соблюдение наиболее консервативного подхода, учитывающего достаточно распространенную форму потребления населением продуктов, произведенных на личном подворье:

- клубни картофеля и корнеплодов без удаления кожуры («в мундире»);
- листовую зелень после срезки без предварительной обработки водой.

Определение удельной активности ^{137}Cs в пробах продуктов питания выполнялось гамма-спектрометрическим методом.

Определение удельной активности ^{241}Am в пробах продуктов питания выполнялось радиохимическим методом (Методика выполнения измерений 4486-2012. Методика определения удельных активностей ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am в биологических объектах альфа-спектрометрическим методом с использованием ионообменного и экстракционно-хроматографического материала и получением счетного образца электроосаждением) [Method for measuring specific activity of ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am in biological objects by alpha-spectrometry using ion-exchange and extraction chromatographic materials, as well as obtaining counting sample by sedimentation (In Russian)]. Алгоритм радиохимической процедуры включал следующие основные операции: озоление; кислотное вскрытие; концентрирование и очистка от радионуклидов щелочных и щелочноземельных металлов; очистка Am от Pu (IV) на Anion Exchange Resin; очистка Am от Sr (II) и Fe (II) на TRU-Spec Resin; очистка Am от лантаноидов на TEVA-Spec Resin; электроосаждение Am на счетную мишень в виде металлического диска. Измерение активности ^{241}Am выполнялось на альфа-спектрометрическом комплексе Alpha Analyst, Canberra, с кремниевым полупроводниковым детектором PIPS, энергетическое разрешение < 15 КэВ, эффективность регистрации в диапазоне

энергий 3–6 МэВ (для расстояния образец-детектор 5 мм не менее 18%, для расстояния образец – детектор 1 мм не более 31%), фон < 1 имп/ч для энергий более 3 МэВ. Время измерения счетной мишени составляло 1–4 сут. Химический выход по вводимой метке ^{243}Am варьировал в пределах 80–95%. Погрешность определения активности не превышала 30%. Минимально-детектируемая активность (МДА) ^{241}Am в пробах продуктов зависела от массы зольного остатка пробы и не превышала 0,001 Бк /пробу.

Результаты и обсуждение

По результатам определения содержания ^{241}Am в почве частных подворий населенных пунктов Брагинского района были сформированы три группы населенных пунктов, которые характеризуются минимальным, средним

и максимальным уровнем удельной активности ^{241}Am в почве:

- 1 группа (табл. 1) $A < 5$ Бк/кг
установлено минимальное содержание ^{241}Am в почве подворий населенного пункта – удельная активность ^{241}Am меньше минимально-детектируемой активности, либо с учетом погрешности не превышает уровень 5 Бк/кг.
- 2 группа (табл. 2) $A < 10$ Бк/кг
установлено среднее содержание ^{241}Am в почве подворий населенного пункта – удельная активность ^{241}Am с учетом погрешности не превышает уровень 10 Бк/кг.
- 3 группа (табл. 3) $A > 10$ Бк/кг
установлено максимальное содержание ^{241}Am в почве подворий населенного пункта – удельная активность ^{241}Am с учетом погрешности может превышать уровень 10 Бк/кг.

Таблица 1

Содержание ^{241}Am и сопутствующего ^{137}Cs в почве подворий н.п. Микуличи Брагинского района Гомельской области

[Table 1]

^{241}Am and accompanying ^{137}Cs contents in the soil of the farmlands of Mikulichi village of Bragin district, Gomel region]

Населенный пункт [Village]	^{241}Am		^{137}Cs	
	Бк/кг [Bq/kg]	кБк/м ² [kBq/m ²]	Бк/кг [Bq/kg]	кБк/м ² [kBq/m ²]
Микуличи 1 [Mikulichi 1]	2,8±0,7	0,46	2130±270	350
Микуличи 2 [Mikulichi 2]	<1,8	–	1560±200	322
Микуличи 3 [Mikulichi 3]	3,5±1,5	0,81	1320±170	305
Микуличи 4 [Mikulichi 4]	2,2±0,6	0,54	1280±160	311
Микуличи 5 [Mikulichi 5]	<1,1	–	930±120	171
Микуличи 6 [Mikulichi 6]	<1,8	–	550±70	117
Микуличи 7 [Mikulichi 7]	<1,7	–	1010±130	223

Таблица 2

Содержание ^{241}Am и сопутствующего ^{137}Cs в почве подворий н.п. Дублин Брагинского района Гомельской области

[Table 2]

^{241}Am and accompanying ^{137}Cs contents in the soil of the farmlands of Dublin village of Bragin district, Gomel region]

Населенный пункт [Village]	^{241}Am		^{137}Cs	
	Бк/кг [Bq/kg]	кБк/м ² [kBq/m ²]	Бк/кг [Bq/kg]	кБк/м ² [kBq/m ²]
Дублин 1 [Dublin 1]	4,1±0,7	0,97	328±41	77
Дублин 2 [Dublin 2]	5,6±1,1	1,17	418±53	87
Дублин 3 [Dublin 3]	2,1±0,6	0,48	234±29	54
Дублин 4 [Dublin 4]	4,8±1,1	0,98	462±58	94
Дублин 5 [Dublin 5]	5,9±1,2	1,36	406±51	94

Таблица 3

Содержание ^{241}Am и сопутствующего ^{137}Cs в почве и продуктах питания подворий н.п. Соболи Брагинского района Гомельской области

[Table 3]

^{241}Am and accompanying ^{137}Cs contents in the soil and foodstuffs of the farmlands of Soboli village of Bragin district, Gomel region]

Населенный пункт [Village]	Продукт [foodstuffs]	^{241}Am почва* [soil]		^{241}Am продукт* [foodstuffs]		^{137}Cs почва* [soil]		^{137}Cs продукт* [foodstuffs]	
		Бк/кг [Bq/kg]	кБк/м ² [kBq/m ²]	мБк/кг [mBq/kg]		Бк/кг [Bq/kg]	кБк/м ² [kBq/m ²]	Бк/кг [Bq/kg]	
Соболи 1 [Soboli 1]		6,7±1,8	1,4	–		1130±140	240	–	
Соболи 2 [Soboli 2]	Не отбирались [Not selected]	6,5±1,8	1,4	–		530±100	120	–	
Соболи 3 [Soboli 3]		7,2±2,2	1,2	–		1570±200	270	–	
Соболи 4 [Soboli 4]	Картофель [Potatoes]	8,9±1,2	1,4	2,0±0,5		990±130	160	3,8±0,9	
	Листовой салат [Leaf salad]	9,2±2,3	1,4	13,1±2,5		1120±140	170	3,3±1,1	
	Лук (перо) [Onion feather]	9,2±2,3	1,4	2,8±0,8		1120±140	170	2,7±0,9	
Соболи 5 [Soboli 5]	Свекла [Beet]	7,3±2,0	1,3	3,7±0,7		1570±200	270	2,7±0,4	
	Картофель [Potatoes]	7,3±2,0	1,3	5,1±1,0		1570±200	270	2,8±0,4	
	Листовая петрушка [Leaf parsley]	16,3±3,2	3,6	33,3±6,0		1340±170	300	11,7±2,2	
	Листовой салат [Leaf salad]	7,1±1,5	1,3	19,6±3,1		1150±140	210	3,2±1,2	
	Лук (перо) [Onion feather]	7,1±1,5	1,3	3,0±0,8		1150±140	210	2,7±0,9	

*Удельная активность радионуклидов в почве определена на воздушно-сухую массу, в продуктах – на натуральную массу.
[The specific activity of radionuclides in the soil is determined by the air-dry weight, in the products – by the natural weight].

Самые высокие уровни содержания ^{241}Am в почве (см. табл. 3) отмечены на подворьях населенного пункта Соболи. Поэтому на подворьях указанного населенного пункта были также отобраны и продукты питания для установления возможного содержания в них ^{241}Am .

Продукты питания отбирались только на подворье 3 группы, где были установлены максимальные уровни содержания ^{241}Am в почве. Расположение населенных пунктов относительно границ земель выведенных из использования (радиологический заповедник) и Чернобыльской АЭС представлены на рисунке. Расстояние от ЧАЭС до н.п. Дублин – 43 км, до н.п. Соболи – 46 км, до н.п. Микуличи – 52 км.

Данные таблицы 1 свидетельствуют о том, что в н.п. Микуличи при достаточно высоком уровне загрязнения почвы подворий сопутствующим ^{137}Cs на четырех из семи подворий уровни содержания ^{241}Am в почве меньше минимально-детектируемой активности, даже с учетом погрешности удельная активность ^{241}Am в почве подворий н.п. Микуличи не превышает уровень 5 Бк/кг. Иная картина наблюдается на подворьях в н.п. Дублин



Рис. Расположение на космическом снимке населенных пунктов Микуличи, Соболи, Дублин Брагинского района Гомельской области относительно отселенных территорий (радиационно-экологический заповедник) и Чернобыльской АЭС
[Fig. Location on the satellite image of Mikulichi, Soboli, Dublin settlements of Bragin area of Gomel region relative to the resettled areas (radiological reserve) and the Chernobyl nuclear power plant]

(табл. 2): установлены относительно меньшие (по сравнению с н.п. Микуличи) – до 10 раз уровни загрязнения почвы сопутствующим цезием, при этом удельная активность ^{241}Am в почве этих подворий с учетом погрешности не превышает уровень 10 Бк/кг.

Сравнительный анализ современных уровней содержания ^{241}Am и сопутствующего ^{137}Cs в почве трех населенных пунктов Брагинского района (см. табл. 1–3) показывает, что отсутствует прямая зависимость между данными радионуклидами – самые низкие уровни америция 0,5–0,8 кБк/м² в почве подворий наблюдаются в н.п. Микуличи, где отмечены самые высокие уровни цезия, достигающие 350 кБк/м². Если с учетом содержания ^{241}Am в почве подворий населенные пункты образуют возрастающий ряд: Микуличи→Дублин→Соболи, то по содержанию ^{137}Cs аналогичный ряд возрастания выглядит иначе: Дублин→Соболи→Микуличи. Не отмечается какая-либо корреляция между загрязнением ^{241}Am и ^{37}Cs почвы рассматриваемых населенных пунктов и расстоянием до ЧАЭС (см. рис.).

Данные таблицы 3 свидетельствуют о том, что в населенном пункте Соболи на одном из участков частного подворья (Соболи 5) с учетом объемной плотности сложения почвы установлено максимальное (принимая во внимание населенные пункты Брагинского района) присутствие ^{241}Am в почве – 3,6 кБк/м². На других участках этого же подворья содержание ^{241}Am оказалось в три раза меньше и составило 1,3 кБк/м², что соответствует средней величине плотности загрязнения америцием почвы по всем обследованным подворьям населенных пунктов Брагинского района.

Принимая во внимание средний уровень глобальных выпадений на почвенный покров Республики Беларусь $^{239+240}\text{Pu} \sim 60 \text{ Бк/м}^2$ [4,5], можно заключить, что уровни современного загрязнения почвы ^{241}Am Брагинского района Гомельской области на отдельных участках территории до 100 раз могут превышать дочернобыльский фон глобального загрязнения по плутонию.

Представлялось важным определить, какое загрязнение ^{241}Am растительной продукции из личных подворий может быть сопряжено с установленными уровнями содержания этого радионуклида в почве. Анализ литературных источников показал, что основное содержание америция в пробах картофеля может быть связано с кожурой [6], а листовая поверхность в пробах зеленных культур может быть носителем как поверхностного, так и корневого загрязнения радионуклидами [7, 8].

Результаты определения удельной активности ^{241}Am и сопутствующего ^{137}Cs в растительной продукции, получаемой населением на личных подворьях, представлены в таблице 3. Максимальная удельная активность ^{241}Am в продуктах питания на уровне 10–30 миллибеккерелей в 1 кг натурального продукта установлена в пробах листовой зелени петрушки (33,3 мБк/кг) и листового салата (19,6 мБк/кг). В пробах картофеля, свеклы, лука (перо) удельная активность ^{241}Am находилась в пределах 2–5 мБк/кг. При этом содержание сопутствующего ^{137}Cs в пробах данной растительной продукции (см. табл. 3) установлено в диапазоне 3–12 беккерелей на 1 кг натурального продукта, что на три порядка величины превышает содержание ^{241}Am .

На основании фактических данных об уровнях современного загрязнения ^{241}Am и сопутствующим ^{137}Cs почвы и продуктов питания, получаемых населением на личном подворье, в соответствии с рекомендациями [9, 10] выполнена оценка максимальной ожидаемой годовой дозы внутреннего облучения от ^{241}Am и ^{137}Cs для жителей одного из подворий Брагинского района (Соболи 5) с учетом поступления при ингаляции и по пищевой цепочке (табл. 4).

Расчет ожидаемой дозы внутреннего облучения при ингаляции произведен, исходя из предположения, что жители подворья выполняют сельскохозяйственные работы на приусадебном участке 4 ч в день (2 ч утром, 2 ч вечером – согласно опросам населения) в течение 7 месяцев.

В расчетах оценки ожидаемой дозы внутреннего облучения по пищевой цепочке консервативно принималось, что все основные компоненты рациона (картофель, зелень, овощи, фрукты и ягоды, молоко, мясо, яйца) население получает на личном подворье. При отсутствии данных о содержании радионуклидов в продукте ввиду низких активностей использовались расчетные данные с учетом максимальных концентрационных соотношений в соответствии с международным справочником IAEA-TRS-472 [11,12].

Таким образом, оценка ожидаемой дозы внутреннего облучения путем ингаляции на примере одного из подворий Брагинского района Гомельской области показала, что при выполнении населением работ на личном подворье в н.п. Соболи доза от ингаляционного поступления америция составляет $3,3 \times 10^{-2}$ мЗв/год (3% от предела средней годовой эффективной дозы облучения населения в ситуации планируемого облучения – 1 мЗв/год (Критерии оценки радиационного воздействия: Гигиенический нор-

Таблица 4

Оценка максимальной ожидаемой дозы внутреннего облучения от ^{241}Am и сопутствующего ^{137}Cs на частном подворье Соболи 5, мЗв/год

[Table 4

Estimation of the maximum expected internal dose from ^{241}Am and accompanying ^{137}Cs at the Soboli 5 farmland, mSv / year]

^{137}Cs			^{241}Am		
Пищевая цепочка [food chain]	Ингаляция [inhalation]	Сумма [total]	Пищевая цепочка [food chain]	Ингаляция [inhalation]	Сумма [total]
$8,21 \times 10^{-1}$	$1,04 \times 10^{-3}$	$8,22 \times 10^{-1}$	$1,28 \times 10^{-3}$	$3,32 \times 10^{-2}$	$3,45 \times 10^{-2}$

матив Республики Беларусь. 2013. 8/26850 [Criteria for estimating radiation exposure: Hygienic standard. Registered at the National register of legal acts of the Republic of Belarus, registration number 2013/8/2650. (In Russ.)]. В то же время доза при ингаляционном пути поступления сопутствующего ^{137}Cs на этом подворье – $1,0 \times 10^{-3}$ мЗв/год, что составляет только 0,1% от указанного дозового предела.

Как следует из данных таблицы 4, в суммарной ожидаемой дозе внутреннего облучения от ^{241}Am жителей подворья преобладает доля ингаляционной составляющей, тогда как пероральный путь поступления является доминирующим в формировании суммарной ожидаемой дозы внутреннего облучения от ^{137}Cs .

Однако на современном этапе продолжает превалировать (более чем в 20 раз относительно ^{241}Am) суммарная доза внутреннего облучения, которую население получает от поступления ^{137}Cs . Принимая во внимание результаты опроса жителей, согласно которым, они не производят на своем подворье мясо-молочную продукцию, можно заключить, что реальная доза от поступления радионуклидов по пищевой цепочке будет ниже, чем консервативно оцененная доза.

Заключение

Установлено, что при среднем уровне $1,3 \text{ кБк/м}^2$ максимальная плотность современного загрязнения почвы ^{241}Am на территории частных подворий населенных пунктов Брагинского района может достигать $3,6 \text{ кБк/м}^2$. Плотность загрязнения почвы этой территории для сопутствующего ^{137}Cs на 1–2 порядка величины выше и варьирует в пределах от 50 кБк/м^2 до 350 кБк/м^2 . Принимая во внимание средний уровень глобальных выпадений на почвенный покров Республики Беларусь $^{239+240}\text{Pu} \sim 60 \text{ Бк/м}^2$, можно заключить, что уровни современного загрязнения почвы ^{241}Am Брагинского района Гомельской области на отдельных участках территории до 100 раз могут превышать дочернобыльский фон глобального загрязнения по плутонию.

Максимальная удельная активность ^{241}Am в продуктах на частном подворье установлена в пробах листовой зелени петрушки – 33 мБк/кг , а в пробах картофеля, свеклы, лука (перо) удельная активность ^{241}Am не превышала 5 мБк/кг . При этом содержание сопутствующего ^{137}Cs в пробах растительной продукции находилось в пределах $3\text{--}12 \text{ Бк/кг}$, что на три порядка величины выше, чем содержание ^{241}Am .

В суммарной ожидаемой дозе внутреннего облучения от ^{241}Am жителей подворья преобладает ингаляционная составляющая, тогда как пероральный путь поступления является доминирующим в формировании суммарной ожидаемой дозы внутреннего облучения от ^{137}Cs .

Оценка доз облучения показала, что при выполнении населением работ на одном из личных подворий доза от ингаляционного поступления ^{241}Am составляет $3,3 \times 10^{-2}$ мЗв/год (3% от от предела средней годовой эффективной дозы

облучения населения в ситуации планируемого облучения – 1 мЗв/год). В то же время доза при ингаляционном пути поступления сопутствующего ^{137}Cs на данном подворье – $1,0 \times 10^{-3}$ мЗв/год, что составляет только 0,1% от указанного дозового предела

На современном этапе продолжает превалировать (более чем в 20 раз относительно ^{241}Am) суммарная доза внутреннего облучения, которую население получает от поступления ^{137}Cs .

Литература

1. Конопля, Е.Ф. Радиация и Чернобыль: Трансурановые элементы на территории Беларуси / Е.Ф. Конопля, В.П. Кудряшов, В.П. Миронов. – Гомель: РНИУП «Институт радиологии», 2007. – 128 с.
2. UNSCEAR 2008. Effects of Ionizing Radiation. Volume II: Report to the General Assembly, Scientific Annexes C,D and E. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. New York: United Nations, 2011. – 219 p.
3. Атлас современных и прогнозных аспектов последствий аварии на Чернобыльской АЭС на пострадавших территориях России и Беларуси (АСПА Россия-Беларусь) / Под ред. Ю.А. Израэля и И.М. Богдевича. – Москва-Минск: Фонд «Инфосфера»; НИА-Природа, 2009. – 140 с.
4. Лебедев, И.А. Содержание плутония в почвах Европейской части страны после аварии на Чернобыльской АЭС / И.А. Лебедев, Б.Ф. Мясоедов, Ф.И. Павлоцкая, В.Я. Френкель // Атомная энергия. – 1992. – Т. 22, вып. 6. – С. 593-599.
5. Тагай, С.А. Содержание и распределение ^{241}Am в почве юга Гомельской области / С.А. Тагай // Природные ресурсы. – 2007. – №3. – С. 63-69.
6. Апплби, Л.Дж. Пути миграции искусственных радионуклидов в окружающей среде. Радиоэкология после Чернобыля / Л.Дж. Апплби и [др.]; пер. с англ., под ред. Ф. Уорнера и Р. Харрисона. – М.: Мир, 1999. – 512 с.
7. Павлоцкая, Ф.И. Поведение трансплутониевых элементов в окружающей среде / Ф.И. Павлоцкая, Ю.И. Поспелов, Б.Ф. Мясоедов, Ю.В. Кузнецов, В.К. Легин // Радиохимия. – 1991. – № 5. – С. 112–119.
8. Аверин, В.С. Америций и плутоний в агроэкосистемах. Чернобыльская катастрофа 1986 года / В.С. Аверин, А.Г. Подольяк, С.А. Тагай, А.Б. Кухтевич, К.Н. Буздаккин, А.А. Царенок, Е.К. Нилова. – РНИУП «Институт радиологии». Мн., 2014. – 176 с.
9. International Atomic Energy Agency (IAEA) Radiation protection and safety of radiation sources: international basic safety standards: general safety requirements. Interim edition. Vienna: IAEA, 2011, 303 p.
10. International Atomic Energy Agency (IAEA) IAEA-TECDOC-1162. Generic procedures for assessment and response during a radiological emergency: updating IAEA-TECDOC-1162. Vienna: IAEA, 2000, 194 p.
11. International Atomic Energy Agency (IAEA) Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater Environments/Technical Reports Series. TRS-472.Vienna: IAEA, 2010, 208 p.
12. International Atomic Energy Agency (IAEA) Quantification of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater Environments for Radiological Assessments / IAEA-TECDOC-1616.Vienna: IAEA, 2009,307 p.

Поступила: 11.05.2019 г.

Нилова Екатерина Константиновна – кандидат биологических наук, научный сотрудник государственного научного технического учреждения «Центр по ядерной и радиационной безопасности» МЧС Республики Беларусь, Минск, Беларусь

Бортновский Владимир Николаевич – кандидат медицинских наук, доцент, заведующий кафедрой общей гигиены, экологии и радиационной медицины Гомельского государственного медицинского университета, Гомель, Беларусь

Тагай Светлана Алексеевна – научный сотрудник Института радиобиологии НАНБ, Гомель, Беларусь. **Адрес для переписки:** 246000, Гомель, ул. Федюнинского, д. 16, Tel.: 8 10 (375 44) 724 19 42, E-mail: lanabuz@tut.by

Дударева Наталья Владимировна – научный сотрудник Института радиобиологии НАНБ, Гомель, Беларусь

Жукова Людмила Викторовна – научный сотрудник Института радиобиологии НАНБ, Гомель, Беларусь

Для цитирования: Нилова Е.К., Бортновский В.Н., Тагай С.А., Дударева Н.В., Жукова Л.В. ²⁴¹Am на территориях, прилегающих к белорусскому сектору зоны отселения Чернобыльской АЭС: загрязнение почв, продуктов питания и оценка доз внутреннего облучения населения // Радиационная гигиена. – 2019. – Т. 12, № 2 (спецвыпуск). – С. 75-82. DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12s-75-82.

²⁴¹Am on the territories adjacent to the Belarusian sector of the Chernobyl NPP resettlement zone: soil contamination, foodstuffs and population internal dose assessment

Ekaterina K. Nilova ¹, Vladimir N. Bortnovsky ², Svetlana A. Tagai ³, Natalia V. Dudareva ³, Lyudmila V. Zhukova ³

¹ Center for Nuclear and Radiation Safety Ministries of Emergency Situations of the Republic of Belarus, Minsk, Belarus

² Gomel State Medical University, Gomel, Belarus

³ Institute of Radiobiology of the National Academy of Sciences of Belarus, Gomel, Belarus

²⁴¹Am is the only radionuclide of Chernobyl radioactive fallout the content of which until 2058 continues to increase. The purpose of this work is to assess the ²⁴¹Am internal exposure doses of residents of settlements on the territory adjacent to the resettlement lands of the Chernobyl nuclear power plant. To achieve this goal the current levels of ²⁴¹Am and accompanying ¹³⁷Cs content in the soil and foodstuffs were determined at the private settlements of the Bragin district of Gomel region of Belarus. ²⁴¹Am (E 59.6 keV) content in soil samples and ¹³⁷Cs (E 661 keV) content in soil/food samples were determined by gamma spectrometry. Determination of ²⁴¹Am specific activity in food samples was performed by the radiochemical method using selective extraction-chromatographic resins. With an average level of 1.3 kBq/m², the maximum soil contamination density of ²⁴¹Am can reach 3.6 kBq/m², and for ¹³⁷Cs it is one or two orders of magnitude higher and ranges from 50 kBq/m² to 350 kBq/m². The maximum specific activity of ²⁴¹Am in products is determined in samples of leafy parsley – 33 mBq/kg, and in samples of potatoes, beets, onions per feather – not exceed 5 mBq/kg. The content of accompanying ¹³⁷Cs in samples of plant products is in the range of 3-12 Bq/kg. In estimation of the internal dose of exposure by the food chain it is conservatively assumed that the population receives all the main components of the diet in their own farmstead. Calculation of the dose of internal exposure during inhalation is made under the assumption that the population performs work in the garden 4 hours a day for 7 months. The total expected dose of internal exposure from ²⁴¹Am residents of settlements is dominated by the inhalation component, while the oral route is dominant in the formation of the total dose of internal exposure from concomitant ¹³⁷Cs, which is 20 or more times higher than ²⁴¹Am.

Key words: ²⁴¹Am, ¹³⁷Cs, density of soil contamination, specific activity, population, food, inhalation, dose of internal exposure.

References

1. Konoplia E.F., Kudriashov V.P., Mironov V.P. Radiation and Chernobyl: Transuranic elements on the Belarus territory, Gomel: RNIUP «Institute Radiologii», 2007, 128 p. (In Russian).
2. UNSCEAR 2008. Effects of Ionizing Radiation. Volume II: Report to the General Assembly, Scientific Annexes C, D and E. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. New York: United Nations, 2011, 219 p.
3. Atlas of current and future effects of the Chernobyl accident on affected parts of the Russian Federation and Belarus (ACFE Russia-Belarus). Eds.: Yu.A. Israel and I.M. Bogdevich. Moscow-Minsk: Foundation «Infosfera», NIA Priroda, 2009, 140 p. (In Russian).

Svetlana A. Tagai

Institute of Radiobiology of the National Academy of Sciences of Belarus

Address for correspondence: 16 Fediuninsky St., Gomel, 246000, Belarus; E-mail: lanabuz@tut.by

4. Lebedev I.A., Myasoyedov B.F., Pavlotskaya F.I., Frenkel V.Ya. The content of plutonium in the soils of the European part of the country after the accident at the Chernobyl nuclear power plant. *Atomnaya energiya = Atomic Energy*, 1992, 22(6): 593-599 (In Russian).
5. Tagai S.A. Content and distribution of ^{241}Am in the soil of the southern part of the Gomel region. *Prirodnye-resursy = Natural resources*, 2007, 3: 63-69. (In Russian).
6. Ways of migration of artificial radionuclides in the environment. *Radioecology after Chernobyl*. Ed. by Frederick Warner and Roy M. Harrison. Moscow: «Mir», 1999, 512 p. (In Russian).
7. Pavlotskaya F.I., Pospelov Yu.I., Myasoyedov B.F., Kuznetsov Yu.V., Legin V.K. The behavior of transplutonium elements in the environment. *Radiokhimiya = Radiochemistry*, 1991, 5: 112-119. (In Russian).
8. Averin V.S., Podolyak A.G., Tagai S.A., Kukhtevich A.B., Buzdalkin K.N., Tsarenok A.A., Nilova E.K. Americium and plutonium in agroecosystems. 1986 Chernobyl disaster. Gomel: RNIUP «Institute Radiologii», 2014, 176 p. (In Russian).
9. International Atomic Energy Agency (IAEA) Radiation protection and safety of radiation sources: international basic safety standards: general safety requirements. Interim edition. Vienna: IAEA, 2011, 303 p.
10. International Atomic Energy Agency (IAEA) IAEA-TECDOC-1162. Generic procedures for assessment and response during a radiological emergency: updating IAEA-TECDOC 1162. Vienna: IAEA, 2000, 194 p.
11. International Atomic Energy Agency (IAEA) Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater Environments/Technical Reports Series. TRS-472. Vienna: IAEA, 2010, 208 p.
12. International Atomic Energy Agency (IAEA) Quantification of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater Environments for Radiological Assessments / IAEA-TECDOC 1616. Vienna: IAEA, 2009, 307 p.

Received: May 11, 2019

Ekaterina K. Nilova – Candidate of Biological Sciences, Researcher of Center for Nuclear and Radiation Safety Ministries of Emergency Situations of the Republic of Belarus, Minsk, Belarus

Vladimir N. Bortnovsky – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of General Hygiene, Ecology and Radiation Medicine of the Gomel State Medical University, Gomel, Belarus.

For correspondence: Svetlana A. Tagai – Researcher of Institute of Radiobiology of the National Academy of Sciences of Belarus, Gomel, Belarus. (16 Fediuninsky St., Gomel, 246000, Belarus; E-mail: lanabuz@tut.by)

Natalia V. Dudareva – Researcher of Institute of Radiobiology of the National Academy of Sciences of Belarus, Gomel, Belarus.

Lyudmila V. Zhukova – Researcher of Institute of Radiobiology of the National Academy of Sciences of Belarus, Gomel, Belarus

For citation: Nilova E.K., Bortnovsky E.V., Tagai S.A., Dudareva N.V., Zhukova L.V. ^{241}Am on the territories adjacent to the Belarusian sector of the Chernobyl NPP resettlement zone: soil contamination, foodstuffs and population internal dose assessment. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*, 2019, Vol. 12, No. 2 (special issue), pp. 75-82. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426x-2019-12-2s-75-82.

Научно–практический опыт надзорной деятельности в области обеспечения защиты населения и окружающей среды на объектах ядерного наследия России

Н.К. Шандала, С.М. Киселев, А.В. Титов

Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна Федерального медико-биологического агентства России, Москва, Россия

В настоящее время в России реализуется национальная программа реабилитации площадок наследия, образовавшихся в результате деятельности атомной промышленности, использования ядерной энергии в военных целях, а также вследствие радиационных аварий и инцидентов. В ходе ее выполнения приоритетное место уделяется вопросам медико-санитарного обеспечения персонала и населения, проживающего вблизи этих предприятий. Данная деятельность лежит в сфере полномочий Федерального медико-биологического агентства (ФМБА России). С самого начала становления атомной промышленности в нашей стране ведущим институтом по медицинским проблемам отрасли являлся Институт биофизики (ныне – ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России), являющийся технически поддерживающей организацией ФМБА России. Одним из основных направлений и главным назначением его деятельности является научно-методическое обеспечение радиационной безопасности и защиты персонала и населения, проживающего в районах расположения радиационных объектов. В этом крайне обширном направлении работ радиационно-гигиенический мониторинг на протяжении более 60 лет всегда занимал главенствующее место. В настоящей работе представлены результаты многолетнего радиационно-гигиенического мониторинга (2005–2018 гг.) на бывших береговых технических базах Военно-морского флота России, а ныне – пунктах временного хранения отработавшего ядерного топлива и радиоактивных отходов на Северо-Западе и на Дальнем Востоке России; территориях расположения объектов уранодобывающей и перерабатывающей промышленности: Приаргунское горно-химическое объединение (Забайкальский край) и бывшее производственное объединение «Алмаз» (г. Лермонтов, Ставропольский край); а также на объектах уранового наследия в Средней Азии (Республики Таджикистан и Кыргызстан). Обсуждены закономерности формирования радиационной обстановки в районах расположения объектов наследия, обозначены существующие проблемы и представлены дальнейшие направления совершенствования радиационной безопасности с учетом накопленного опыта.

Ключевые слова: ядерное наследие, урановое наследие, мониторинг, облучение населения, окружающая среда, нерадикационное загрязнение, оценка риска, регулирующие документы.

Введение

В соответствии с Основами государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности, утвержденной Президентом Российской Федерации в 2018 г., в России в формате специальной программы осуществляется комплекс мероприятий, направленных на ликвидацию ядерного и уранового наследия бывшего СССР. Одним из ключевых направлений, отмеченных в документе, является развитие систем социально-гигиенического мониторинга, включающих радиационный контроль среды обитания и состояние здоровья населения в районах расположения объектов ядерного наследия. К таким объектам в России относятся бывшие береговые базы атомного флота и объекты по

утилизации атомных подводных лодок (АПЛ), территории предприятий уранодобывающей и перерабатывающей промышленности. Федеральное медико-биологическое агентство осуществляет функции государственного санитарно-эпидемиологического надзора и медицинского обеспечения на радиационных объектах, включая объекты наследия. Эта деятельность проводится в соответствии с утверждаемыми планами и государственными заданиями. Для их выполнения в ФМБА России создана соответствующая инфраструктура, разработаны нормативно-методические документы, регламентирующие этот вид деятельности на всех поднадзорных объектах. ФГБУ ГНЦ ФМБЦ имени А.И. Бурназяна ФМБА России (далее – ФМБЦ) осуществляет научно-техническое со-

Киселев Сергей Михайлович

Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна
Адрес для переписки: 123098, Москва, ул. Живописная, 46; E-mail: sergbio@gmail.com

проведение деятельности регулятора в данном направлении [1].

Рассматривая современный этап реализации программы ликвидации наследия, следует отметить, что к настоящему времени практически завершены работы по модернизации инфраструктуры объектов и полным ходом идет реализация проектов, связанных непосредственно с обращением с отработавшим ядерным топливом (ОЯТ) и радиоактивными отходами (РАО). Данная деятельность, учитывая уникальность применяемых технологий, является наиболее ответственным этапом реализации всего плана реабилитации, успех которого зависит от конструктивного взаимодействия оператора и регулятора в решении единой задачи обеспечения защиты населения и персонала в ходе проведения реабилитационных работ.

Начиная с 2005 г., сотрудниками ФМБЦ в рамках федеральных программ и международного сотрудничества был инициирован целый ряд проектов в этой области, которые стали базовой основой формирования методологии совершенствования регулирующего надзора на площадках ядерного наследия. Накопленный опыт позволил определить приоритеты по большинству важных вопросов, требующих надзора и развития регулирования при реабилитации площадок наследия.

Радиационно-гигиенический мониторинг на территориях расположения бывших береговых баз атомного подводного флота России

Деятельность по утилизации атомного флота СССР проводится на территории объектов бывшей военной инфраструктуры. Особенности загрязнения природной среды обусловлены как результатами предыдущей деятельности, осуществляемой на этих объектах в период активной эксплуатации атомного флота, так и текущей, связанной с выводом из эксплуатации объектов использования атомной энергии. Технологические операции обращения с ОЯТ и РАО, связанные с утилизацией АПЛ и судов атомного технологического обслуживания (АТО), включают выгрузку отработавшего ядерного топлива из реакторов утилизируемых лодок (СЗЦ «СевРАО» отд. Гремеха) и аварийных хранилищ (СЗЦ «СевРАО» г. Андреева), извлечение, сортировку РАО (ДВЦ «ДальРАО» отд. Вилучинск), сбор и кондиционирование твердых и жидких РАО (ДВЦ «ДальРАО», б. Сысоева), разделку корпусных частей АПЛ, подготовку блок-упаковок реакторных отсеков и их размещение на площадках долговременного хранения (ДВЦ «ДальРАО», пункт долговременного хранения реакторных отсеков (ПДХ РО м. Устричный). Очевидно, что интенсификация деятельности по обращению с ОЯТ и РАО предполагает увеличение нагрузки на окружающие эти объекты экосистемы и требует тщательного анализа и контроля осуществляемой оператором деятельности для предотвращения загрязнения окружающей среды и защиты населения, проживающего на близлежащих территориях. Эта деятельность осуществляется регулятором

в формате радиационно-гигиенического мониторинга (РГМ). Проведение РГМ планируется и осуществляется с учетом разработанной Госкорпорацией «Росатом» стратегии реабилитации площадок и особенностей применяемых технологий, используемых на каждом этапе реабилитации объектов наследия. Результаты многолетних радиационно-гигиенических исследований на площадках наследия подробно изложены в ряде отечественных и зарубежных публикаций [2–13]. Накопленный опыт в этой области позволяет отметить ряд характерных особенностей состояния загрязнения технических площадок и прилегающих территорий и определить приоритеты в надзорной деятельности в будущем.

Оценка радиоактивного загрязнения площадок ядерного наследия

Первичная оценка радиологических рисков, проведенная специалистами ФМБЦ на площадках наследия в начале 2000-х гг., показала, что основным источником потенциальной опасности для населения и окружающей среды являются накопленные объемы ОЯТ и РАО, хранящиеся в условиях нарушенных защитных барьеров на территориях бывших объектов береговой инфраструктуры атомного флота.

Для решения первоочередной задачи предотвращения дальнейшего загрязнения окружающей среды основная деятельность оператора за последнее десятилетие была сосредоточена на восстановлении инженерных защитных барьеров хранилищ, инвентаризации радиоактивных отходов, совершенствовании инфраструктуры предприятий для дальнейшей реализации задач по восстановлению загрязненных территорий.

Эффективность этой деятельности подтверждается результатами РГМ, позволившими охарактеризовать изменение радиационной обстановки положительной динамикой уменьшением мощности дозы гамма-излучения на промплощадках объектов наследия [2].

Многолетние исследования позволяют охарактеризовать территории бывших береговых баз атомного флота следующими особенностями загрязнения окружающей среды. Наряду с основными дозообразующими техногенными радионуклидами ^{137}Cs и ^{90}Sr , в объектах окружающей среды (ООС) обнаруживаются следующие радионуклиды: ^{60}Co , ^3H , ^{152}Eu , ^{154}Eu , изотопы плутония (^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Pu), ^{241}Am . Особенности их распределения в окружающей среде промышленных площадок заключаются в наличии локальных участков загрязнения, образовавшихся в результате миграции радионуклидов в окружающую среду из хранилищ ОЯТ и РАО. Локализация линз радиоактивного загрязнения по вертикальному профилю грунтов характеризуется неравномерным (очаговым) характером распределения (рис. 1), причем загрязнение ^{137}Cs локализовано преимущественно в верхних слоях, тогда как распределение ^{90}Sr имеет более диффузный характер, что определяется физико-химическими особенностями поведения радионуклидов в окружающей среде [12].

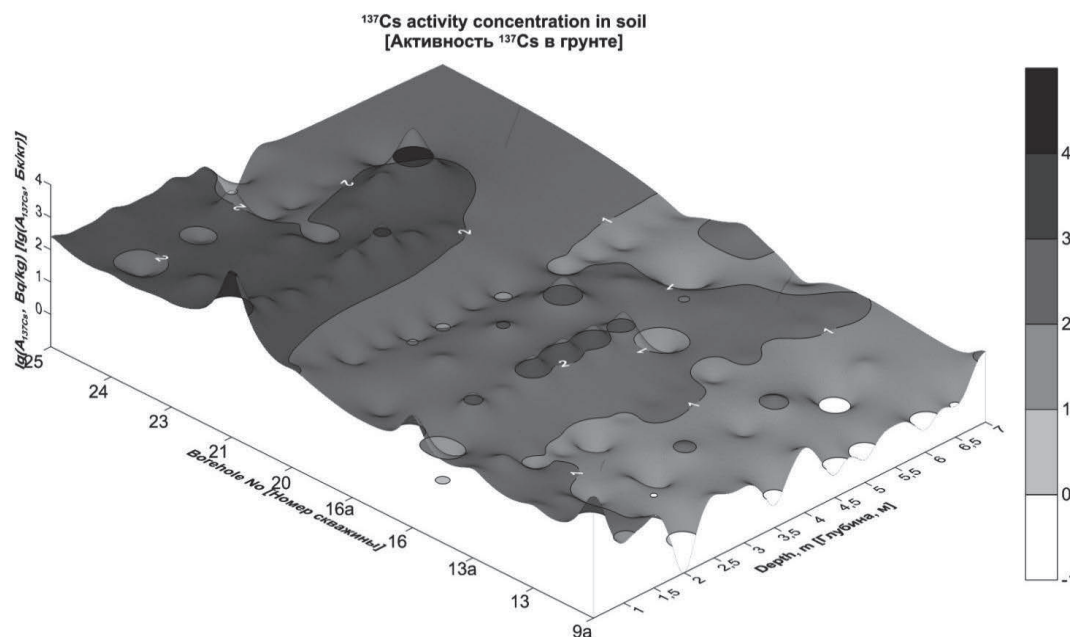


Рис. 1. Распределение ^{137}Cs по вертикальному профилю грунта на технической площадке ДВЦ «ДальРАО» (б. Сысоева). По материалам анализа кернов при бурении скважин

[Fig. 1. Vertical profile of distribution of ^{137}Cs in the soil on the industrial site of the FEC DALRAO (Sysoeva bay) based on the results of the analysis of the core samples from bore drilling]

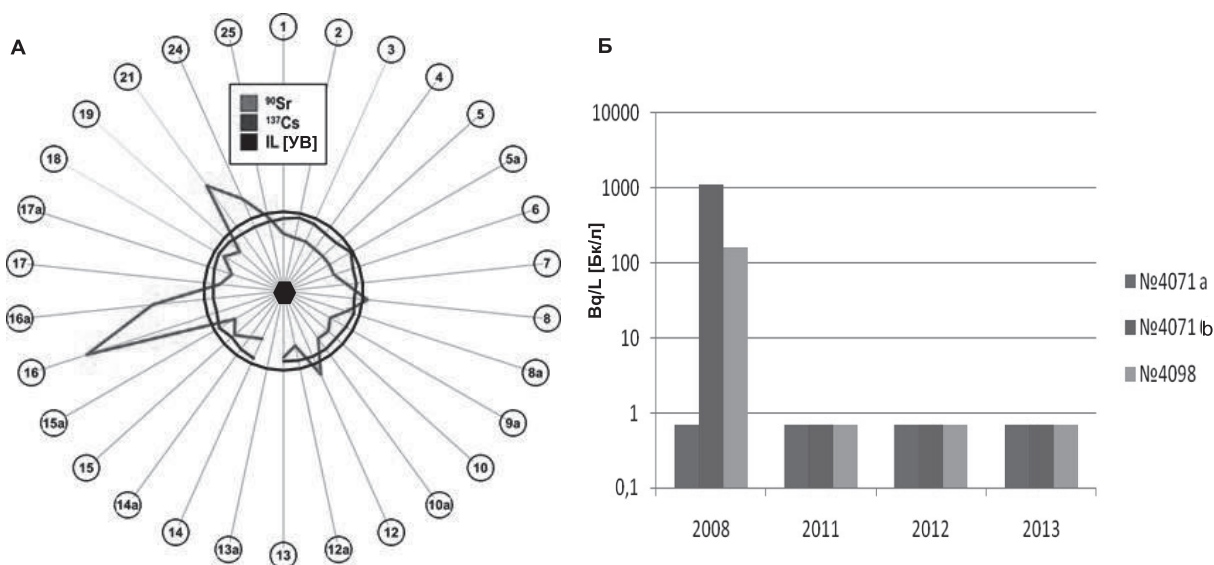


Рис. 2. Содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr в скважинах наблюдательной сети: А – ДВЦ «ДальРАО». Внутренний шестигранник означает региональные фоновые уровни содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в подземной воде [9]; Б – СЗЦ «СевРАО». Динамика изменения содержания ^{90}Sr в воде скважин, расположенных в районе проведения реабилитационных работ

[Fig. 2. Concentration of ^{137}Cs and ^{90}Sr in the bores of the surveillance network FEC DALRAO. Internal hexagon corresponds to the regional background levels of ^{137}Cs and ^{90}Sr concentration in the groundwater [9]

NWC "SevRAO". Dynamics of the changes in the concentration of ^{90}Sr in the water of the bores located in the remediation area]

Рис. 3. Картограммы загрязнения морской акватории ^{60}Co и ^{137}Cs (б. Чажма, ПДХ РО м. Устричный, ДВЦ «ДальРАО»)

[Fig. 3. Meter charts of the contamination of the offshore zone by ^{60}Co and ^{137}Cs (Chazhma bay, LTS RC RO cape Ustrishniy, FEC "DalRAO")]

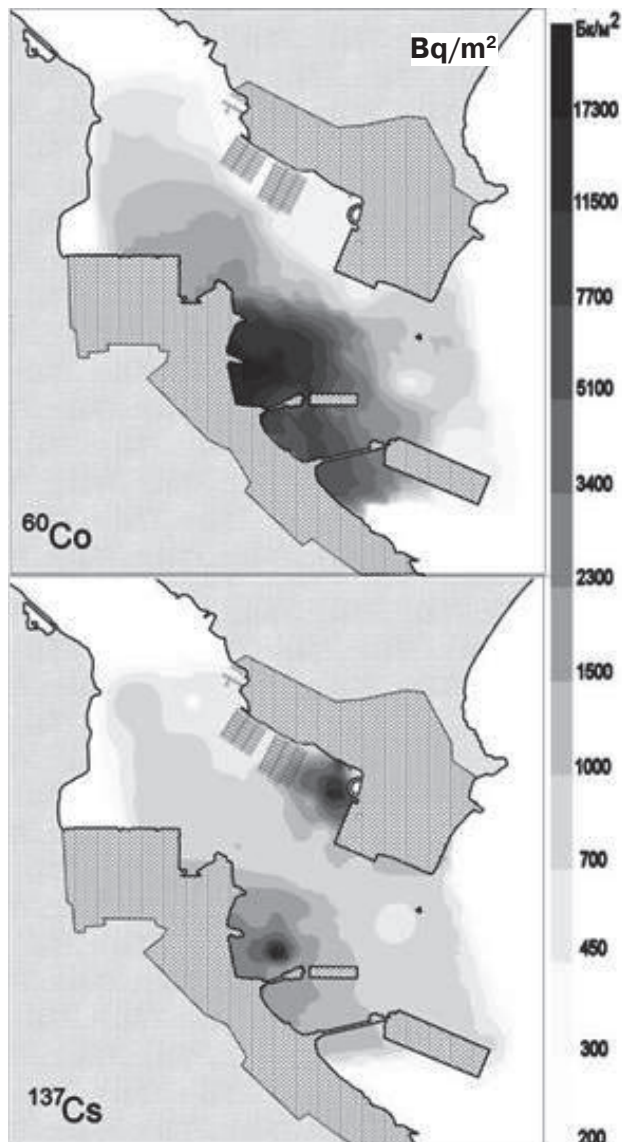


Рис. 3. Картограммы загрязнения морской акватории ^{60}Co и ^{137}Cs (б. Чажма, ПДХ РО м. Устричный, ДВЦ «ДальРАО»)

[Fig. 3. Meter charts of the contamination of the offshore zone by ^{60}Co and ^{137}Cs (Chazhma bay, LTS RC RO cape Ustrishnyi, FEC "DalRAO")]

Техногенное загрязнение распространяется в грунтовые и подземные воды, а также на локальные участки прибрежной морской акватории (рис. 2 и 3).

Мониторинг скважин наблюдательной сети исследуемых объектов показывает, что основными техногенными радионуклидами в подземных водах являются ^{137}Cs и ^{90}Sr , уровни которых превышают фоновые региональные показатели более чем в 1000 раз [8, 10]. Следует отметить, что доминирующим радионуклидом, уровни которого в подземных водах обнаруживаются выше нормативных показателей для питьевой воды, является ^{90}Sr . Характер загрязнения объектов морской среды ^{137}Cs и ^{90}Sr также определяется существенным превышением региональных фоновых уровней [8, 10, 12].

Анализ динамики радиоактивного загрязнения объектов окружающей среды за более чем 10-летний период наблюдения на объектах ядерного наследия показывает, что его качественный и количественный характер не претерпел существенных изменений. Радиоэкологическое состояние территорий исследуемых объектов характеризуется большими объемами техногенных загрязненных грунтов, которые по уровню активности можно отнести преимущественно к категории промышленных, а в ряде случаев – очень низкоактивных радиоактивных отходов (рис. 4). Очевидно, что в процессе реабилитации территорий объектов наследия планируется обращение с большим объемом промышленных отходов. Качественное обеспечение радиационного мониторинга при обращении с этими отходами в хозяйственной деятельности является важным направлением обеспечения радиационной безопасности населения и окружающей среды.

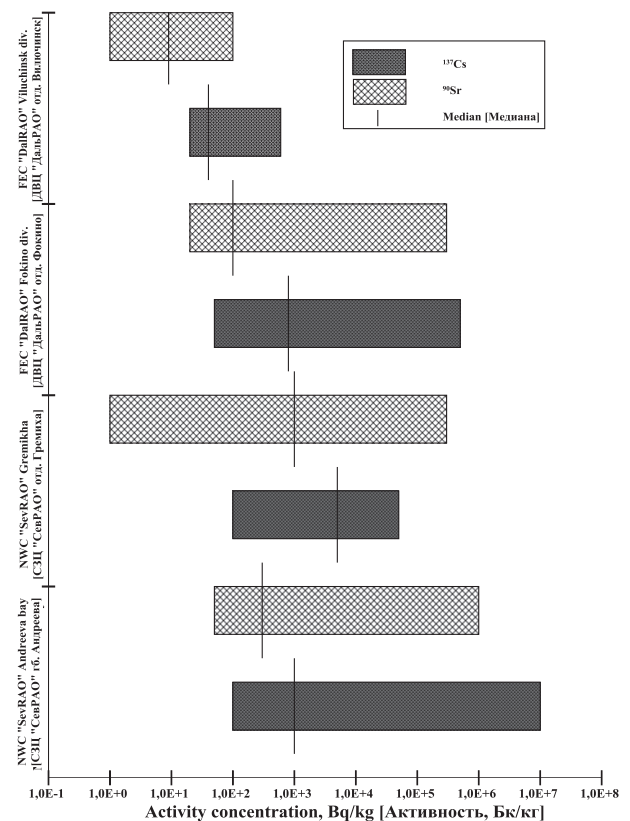


Рис. 4. Техногенное загрязнение грунтов на территории промышленных площадок объектов ядерного наследия

[Fig. 4. Technogenic contamination of the soil on the territory of the industrial sites of the nuclear legacy facilities]

Мониторинг радиационной обстановки в зонах наблюдения исследуемых объектов за период наблюдения 2005–2018 гг. не выявил негативных тенденций ее изменения. Состояние окружающей среды характеризуется фоновыми значениями мощности дозы, а также фоновыми показателями содержания техногенных радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в объектах окружающей среды (вода, почва, растительность) и местных пищевых продуктов, обусловленными глобальными выпадениями (табл. 1, рис. 5).

Таблица 1

Результаты радиохимических исследований проб пищевых продуктов и объектов окружающей среды
в п. Старый Дунай (ДВЦ «ДальРАО» отд. Фокино) [9]

[Table 1]

Results of the radiochemical analysis of the samples of the food products and environmental objects
in in the Old Danube village (FEC "DalRAO", Fokino dev.) [9]]

Пищевой продукт [Food product]	Удельная активность, Бк/кг(л) (медиана) [Activity conc., Bk/kg (l) (median)]	
	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr
Молоко [Milk]	0,02–0,62 (0,24)	0,03–0,649 (0,24)
Картофель [Potatoes]	0,02–0,38 (0,11)	0,01–7,3 (0,63)
Овощи и бахчевые [Vegetables]	0,01–0,1 (0,06)	0,04–0,2 (0,12)
Мясо [Meat]	0,05–0,21 (0,16)	0,1–0,33 (0,14)
Грибы [Mushrooms]	0,16–14,6 (6,38)	0,1–1,2 (0,65)
Рыба [Fish]	0,07–0,97 (0,52)	0,1–0,22 (0,14)
Ягоды [Berries]	0,1–0,55 (0,33)	0,1–0,23 (0,17)
Объект окружающей среды [Environmental samples]		
Почва (огород) [Soil (kitchen gardens)]	1,8–70,3(20,4)	0,7–10,5(2,9)
Растительность [Vegetation]	0,05–16 (3,36)	1,7–14,7 (4,8)
Вода (подземная) [Ground water]	0,005–0,03 (0,012)	0,002–0,143 (0,05)
Вода речная [River water]	0,009±0,004	0,01±0,005
Вода морская [Sea water]	0,006±0,003	0,009±0,005

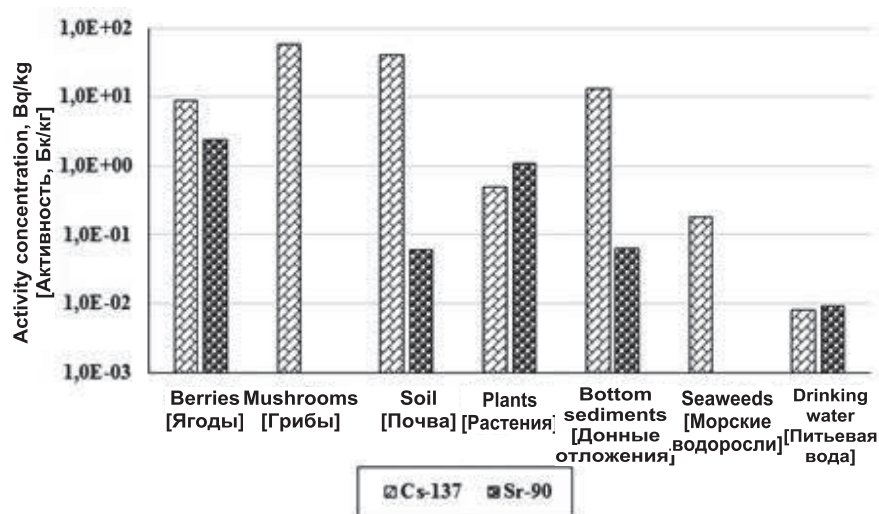


Рис. 5. Содержание техногенных радионуклидов в объектах окружающей среды.
Зона наблюдения СЗЦ «СевРАО» отд. Гремиха, 2018 г.

[Fig. 5. Concentration of the artificial radionuclides in the environmental samples.
Surveillance zone of the NWC "SevRAO", Gremikha dep., 2018]

*Оценка нерадиационного фактора загрязнения
площадок ядерного наследия*

Традиционно техногенное загрязнение объектов ядерного наследия рассматривается преимущественно в фокусе оценки радиационного фактора, с учетом специфики осуществляемой деятельности. Результаты проведенных нами исследований показывают, что особенности загрязнения площадок наследия характеризуются наличием в окружающей среде поллютантов как радиационной, так нерадиационной природы. К факторам нерадиационной природы относится целый спектр неорганических и органических загрязнителей (табл. 2).

Таблица 2

**Спектр загрязнителей нерадиационной природы на
объектах ядерного наследия**

[Table 2]

Non radioactive pollutants at the nuclear legacy sites]

Неорганические соединения [Inorganic compounds]
Оксиды тяжелых металлов (железа, марганца, меди, алюминия, свинца, хрома, никеля) [Heavy metal oxides (ferrum, mangan, copper, aluminum, lead, chromium, nickel)]
Оксиды азота (II, IV), углерода (IV), серы (IV). Кислоты – азотная, серная, сернистая [The nitrogen (II, IV), carbon (IV), sulphur (IV) oxides]
Фтороводород, гексафторалюминат натрия [Fluorine hydrate, Sodium hexafluorinealuminate]
Органические соединения [Organic compounds]
Алифатические углеводороды (керосин, бензин, углеводороды предельные C12 – C19) [Aliphatic hydrocarbons (kerosene, gasoline, hydrocarbons C12-C14)]
Органические спирты, альдегиды, кислоты, эфиры (этиловый спирт, щавелевая кислота, формальдегид, ацетон, этилгликоляцетат, бутилгликоляцетат, бутилацетат, эпихлоргидрин) [Organic alcohols, aldehydes, acids, ethers (ethyl alcohol, oxalic acid, formic aldehyde, ethylglycolacetate, butylglycoacetate, butylacetate, epychloratehydrin)]
Полиароматические соединения (бензпирен, бензол, толуол, ксилол, смесь жидких алифатических и ароматических углеводородов) [Polyaromatic hydrocarbons (benzpyrene, benzol, toluol, xylol, mixtures of liquid aliphatic and aromatic hydrocarbons)]
Амины (диэтилтриамин) [Amines (diethyltriamin)]

Спектр загрязнителей нерадиоактивной природы существенно более разнообразен, по сравнению с радионуклидным составом загрязнения исследуемых объектов. Основными источниками химического загрязнения окружающей среды (ОС) являются выбросы на площадках газорезательных, сварочных, покрасочных и дезактивационных работ, сопровождающих современный этап утилизации объектов ядерного наследия, а также котельные, работающие на мазутном топливе.

Кроме того, отмечено существенное загрязнение грунтов, поверхностных, грунтовых и подземных вод широким спектром тяжелых металлов (никель, ванадий, свинец, мышьяк, бериллий, таллий, кадмий, медь, хром,

марганец и др.), сформировавшееся в процессе прошлой производственной деятельности этих предприятий. Уровни загрязнения ООС можно охарактеризовать превышением максимально допустимых концентраций химических веществ (ПДК) от 10 до 1100 раз [12, 13] (рис. 6).

Многофакторный характер загрязнения объектов ядерного наследия предполагает необходимость совершенствования подходов к оценке воздействия на человека и окружающую среду в процессе реализации восстановительных мероприятий. В международной практике регулирования практикуется традиционный подход, сфокусированный на контроле преимущественно радиационного фактора на данных объектах, который является недостаточным для адекватной оценки состояния природной среды и состояния здоровья населения и персонала, проводящего работы по его утилизации. Так, в руководстве по безопасности МАГАТЭ WS-G-5.1 [14] не рассматриваются нерадиационные риски за счет влияния химических и/или биологических факторов на персонал, население и окружающую среду, несмотря на то, что влияние данных факторов может представлять соответствующую опасность. Вместе с тем, при выводе объектов из эксплуатации и, в частности, при реабилитации площадок для случаев возможного проживания населения и ведения хозяйственной деятельности оценка нерадиационных факторов также должна учитываться, наряду с радиационными факторами.

С точки зрения соблюдения санитарно-эпидемиологического благополучия населения в условиях многофакторного воздействия, следует отметить, что независимое регламентирование загрязняющих веществ радиационной и химической природы в объектах окружающей среды может привести к тому, что суммарное воздействие превысит допустимую величину риска для здоровья человека и окружающей среды. В связи с этим необходимым является развитие комплексных подходов к оценке состояния природной среды и совершенствование моделей оценок рисков радиационной и химической природы с учетом особенностей загрязнения реабилитируемого объекта.

С применением концепции комплексной оценки рисков была оценена значимость вклада загрязнителей радиационной и нерадиационной природы для населения, проживающего в районе расположения предприятий СЗЦ «СевРАО» и ДВЦ «ДальРАО» [15]. Показано, что суммарный индивидуальный канцерогенный риск воздействия радиационного фактора с учетом всех путей облучения населения составляет 1,08E-06 и находится на уровне пренебрежимого, тогда как суммарные канцерогенные риски от воздействия тяжелых металлов, присутствующих в питьевой воде, характеризуются значениями, превышающими приемлемый риск в диапазоне от 1,0E-4 до 5,0E-4.

*Радиационно-гигиенический мониторинг на объектах
уранового наследия*

В СССР основные предприятия по добыче и переработке урановых руд были сосредоточены в Российской Федерации, на Украине и в республиках Центральной Азии.

В настоящее время многие территории и объекты в

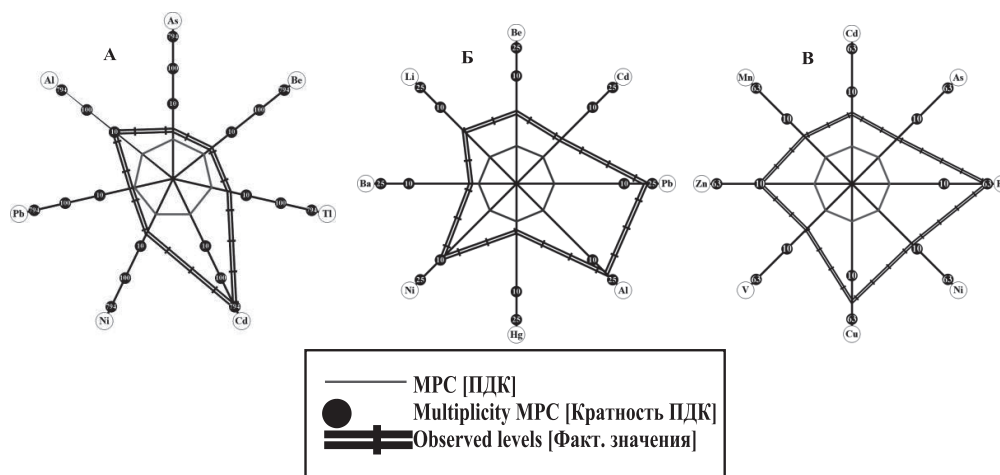


Рис. 6. Загрязнение подземных вод тяжелыми металлами ДВЦ «ДальРАО» (отд. Фокино) 2017(А) и СЗЦ «СевРАО» г. Андреева 2013 (Б); загрязнение грунтов тяжелыми металлами на промплощадке СЗЦ «СевРАО» отд. Гремиха (В)

[Fig. 6. Contamination of the ground water by the heavy metals (a) FEC “DalRAO” (Fokino dev.), 2017 and (b) NWC “SevRAO”, Andreeva bay, 2013, (c) contamination of by the heavy metals on the industrial site of the NWC “SevRAO”, Gremikha dev.]

местах урановых разработок приобрели статус «площадок уранового наследия».

В Российской Федерации в рекультивационных работах нуждаются действующие объекты (ПАО «ППГХО», Забайкальский край, Малышевское рудоправление, Свердловская область, Чепецкий механический завод, г. Глазов, машиностроительный завод (ОАО «МСЗ»), г. Электросталь), отработанные месторождения (ЛПО «Алмаз», Новотроицкое рудоправление г. Балей, Читинская область, степное рудоправление в Калмыкии) и места ведения опытно-промышленных работ геологоразведочными партиями (Алданское месторождение, Якутия, Стрельновское месторождение, Забайкальский край) [16].

В 2010–настоящее время ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА в рамках Федеральной целевой программы «Ядерная и радиационная безопасность» проводит мониторинг радиационной обстановки в районах расположения действующего предприятия ПАО ППГХО и выведенного из эксплуатации ЛПО «Алмаз».

Целью исследований являлась оценка основных путей радиационного воздействия предприятий по добыче и переработке урановых руд на персонал, работающий в санитарно-защитной зоне, и на население, проживающее в районах их расположения.

Приаргунское производственное горно-химическое объединение (ППГХО) является многоотраслевым горнодобывающим предприятием в России, осуществляющим подземную добычу урановых руд и их переработку гидрометаллургическим способом. За более чем 50-летний период деятельности предприятия накопилось большое количество отходов (отвалы горных пород, хвосты и огаркохранилища), которые можно отнести к объектам уранового наследия. Несмотря на то, что эти объекты на-

следия находятся под контролем действующих лицензий, они являются источниками реальных и/или потенциальных рисков для здоровья и безопасности населения и окружающей среды [17].

Другим примером уже отработанных месторождений и классическим примером объекта уранового наследия является бывшее предприятие «Алмаз» (г. Лермонтов, Ставропольский край). ЛПО «Алмаз» осуществляло разработку урановых месторождений с 1949 г. Работы по ликвидации рудника и закрытию штолен и стволов выполнялись до 1994 г. по техническим решениям предприятия в соответствии с действовавшими на тот период нормативами [18]. Однако эрозия и обвалы грунта в 1990 и 1993 гг. изменили состояние отвалов отработанных горных пород, выявив технологические недостатки реализованных проектов по рекультивации загрязненных территорий. Выход из строя установки по очистке шахтных вод создал угрозу радиоактивного загрязнения близлежащих территорий. В настоящее время ситуация коренным образом не изменилась, и радиоактивные отходы уранового производства являются источником реальных рисков для населения и окружающей среды.

Результаты многолетних радиационно-гигиенических исследований на объектах уранового наследия, опубликованные нами в научной печати [19–28], свидетельствуют о том, что на всех этапах функционирования уранодобывающих и перерабатывающих производств основным фактором радиационного воздействия на персонал и население, проживающее в районах их расположения, является радиоактивных газ радон. Объемная активность радона в наземных рабочих помещениях варьируется в пределах от 20 до 11 000 Бк/м³ [17] (табл. 3).

Наиболее неблагоприятная радиационная обстановка

сложилась в поселке Октябрьский (Читинская область), который, вопреки законодательству, находился на территории СЗЗ действующего предприятия ПАО ППГХО [24]. Концентрация радона в жилых помещениях превышала допустимые уровни, обуславливая высокие дозы облучения населения (табл. 4) [27].

Содержание природных радионуклидов в пищевых продуктах, выращенных на загрязненных территориях, характеризуется существенным накоплением ^{226}Ra в молоке и корнеплодах (рис. 7).

Результаты проведенных совместно со специалистами ФГБУЗ ЦГиЭ № 107 ФМБА России исследований по-

Таблица 3

Содержание радона в воздухе наземных помещений СЗЗ ПАО ППГХО, 2011 г.

[Table 3]

Concentration of the radon in the air of the ground premises of the HPZ PIMCU, PJSC, 2011]

Параметр распределения [Parameter]	Объемная активность, Бк/м ³ [Volume activity, Bk/m ³]		
	Зима [Winter]	Весна [Spring]	Лето [Summer]
Среднее [Mean]	720	1430	1110
Минимум [Minimum]	105	22	106
Максимум [Maximum]	5020	10 830	8450

Таблица 4

Среднегодовые дозы жителей п. Октябрьский Читинской области от радона (2006–2007 гг.)

[Table 4]

Average annual effective dose to the public due to radon in Oktyabrskiy settlement, Chita region (2006-2007)]

Группа населения [Public group]	Поселок Октябрьский [Oktyabrskiy settlement]		Фоновый район (поселок Соктуй) [Background region (Soktuy settlement)]
	Среднегодовая доза, мЗв [Average annual effective dose, mSv]	Диапазон, мЗв/год [Dose range, mSv/year]	Среднегодовая доза, мЗв [Average annual effective dose, mSv]
Пенсионеры и работающие в зданиях [Pensioners and workers in the buildings]	14.0	1.3 – 85.0	7.6
Население, работающее за пределами поселка [Members of the public, working outside of the village]	8.4	0.82 – 52.0	4.7
Дети [Children]	9.2	0.85 – 57.0	5.1

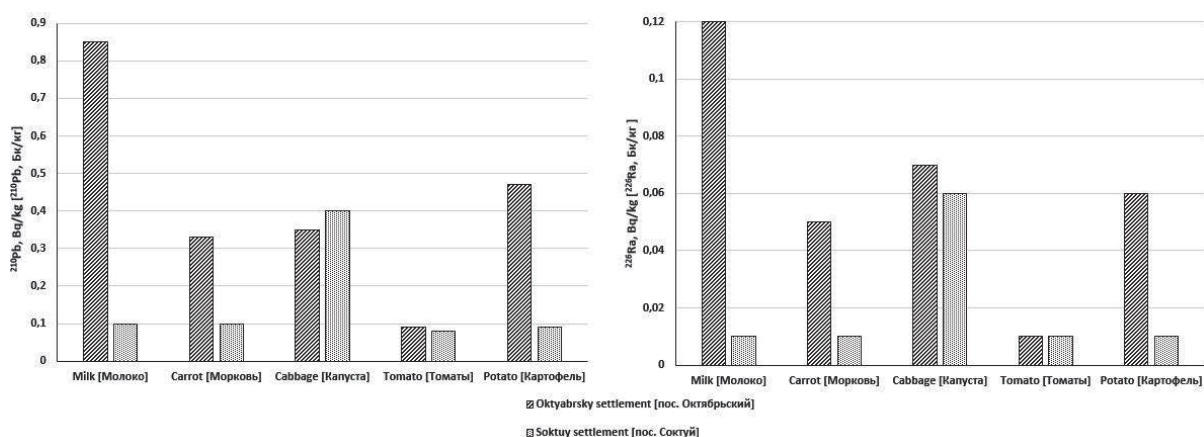


Рис. 7. Удельная активность ^{226}Ra и ^{210}Pb в местных пищевых продуктах п. Октябрьский. Данные приведены в сравнении с фоновым районом п. Соктуй

[Fig. 7. Activity concentration of ^{226}Ra and ^{210}Pb in the local food products of the settlement Oktyabrskiy. Data is presented in comparison with the background region, Soktuy settlement]

зволили ускорить принятие оператором решения о ликвидации поселка и отселении местного населения (около 1600 чел.) в ближайший г. Краснокаменск, состоявшееся в 2009 г.

Загрязнение поверхностных и подземных вод на объектах уранового наследия

Объекты уранодобывающей и перерабатывающей промышленности являются источниками загрязнения поверхностных и подземных вод. Радиационно-гигиенические исследования показали, что в период ливневых дождей на территориях расположения бывшего предприятия ЛПО «Алмаз» происходит вымывание радионуклидов с поверхности отвалов и распространение радиоактивного загрязнения за их пределы. Загрязненные воды распространяются в пруды и другие поверхностные водоемы, которые используются населением в хозяйственных целях (табл. 5) [19].

Источниками техногенного радиоактивного и химического загрязнения поверхностных и подземных вод в районе действующего предприятия ПАО ППГХО являются огарко- и хвостохранилища с нарушенными инженерными барьерами, золоотвалы теплоэлектростанции, промышленные водоемы, временные водотоки, образованные аварийными сбросами рудничных вод [22]. Активность естественных радионуклидов в воде Умыкейских озер, куда до 2009 г. осуществлялся сброс бытовых и промышленных сточных вод и которые используются населением в качестве неорганизованных зон отдыха и рыбалки, превышает уровни вмешательства, установленные для питьевой воды [17, 28]. После прекращения сбросов ситуация, связанная с загрязнением водоемов, стабилизировалась, однако требует разработки специальной программы долговременного мониторинга для оценки ее соответствия санитарно-гигиеническим нормам.

Особую обеспокоенность вызывает потенциальная возможность загрязнения основного хозяйственно-пи-

тьевого водозабора г. Краснокаменска, источником которого являются подземные воды долины Урулюнгуя на расстоянии около 40 км от города. Показано, что разработка месторождений, сброс рудничных вод, утечки из хвостохранилищ и повышенная кислотность грунтов огаркоохранилища изменили общий гидрохимический баланс территории и способствовали возникновению новых (наложенных) ореолов рассеяния элементов группы урана. Увеличение расхода подземного потока за счет инфильтрации техногенных вод, смешения природных вод с фильтрационными потоками от промышленных водоемов и промышленных площадок, содержащих повышенные относительно естественного фона количества сульфат-, гидрокарбонат и карбонат-ионов, привело к развитию и продвижению ореола уранового загрязнения на участок водозабора [28]. Результаты многолетнего РГМ показывают, что в питьевой воде периодически фиксируется превышение действующих в России уровней вмешательства по суммарной альфа-активности (от 6 до 10 раз). Уровень вмешательства по ^{222}Rn практически постоянно превышает от 2 до 4 раз [28]. В питьевой воде отмечается также превышение нормативов по содержанию химических соединений фтора и марганца. В настоящее время рассматриваются возможные пути улучшения ситуации и осуществляется организация контрольных наблюдательных пунктов за состоянием поверхностных и подземных вод.

Объекты уранового наследия в республиках бывшего СССР

Опыт проведения РГМ, полученный на объектах уранового наследия в России, был применен на территориях расположения бывших урановых производств в странах Центральной Азии. Работа проводилась совместно со специалистами этих стран в рамках межгосударственной целевой программы ЕвразЭС «Рекультивация территорий государств-членов ЕвразЭС, подвергшихся воздействию уранодобывающих производств».

Объемная активность радионуклидов в воде поверхностных водоемов (г. Лермонтов, Ставропольский край)

Таблица 5

[Table 5]

Radionuclide activity concentration in the water of the surface basins

Расположение водоема [Basin location]	Объемная активность радионуклидов, Бк/л [Activity conc. Bq/L]					$\Sigma(A_i/IL_i)$
	^{238}U	^{226}Ra	^{235}U	^{210}Po	^{210}Pb	
Верхнее озеро у штольни 11 (рудник № 2) [Upper lake near gallery 11 (mine № 2)]	5,1	0,096	0,067	0,002	0,14	2,7
Нижнее озеро у штольни 11 (рудник № 2) (г. Бык) [Lower lake near gallery 11 (mine №2) Byk city]	8,1	0,11	0,81	0,01	0,05	3,5
Пруд у штольни 9 (рудник № 2) [Pond near gallery 11 (mine №2)]	45	0,58	0,70	0,041	0,014	17
Верхнее озеро у штольни 32 (рудник № 1) [Upper lake near gallery 32 (mine №1)]	11	2,5	0,18	0,002	0,006	11
Штольня 16, левый пруд (рудник №1) [Gallery 16, left pond (mine №1)]	8,0	7,6	0,22	0,030	0,014	19
УВ, Бк/кг [Interventional level, Bq/kg]	3,0	0,49	2,9	0,11	0,2	

Исследования проводились в районах расположения объектов уранового наследия в Киргизии (поселки Каджи-Сай и Мин-Куш) и Таджикистане (г. Истиклол). Такие же исследования были выполнены и в контрольных районах, не подверженных воздействию уранодобывающей промышленности. Анализ структуры формирования доз облучения населения исследуемых районов, в целом, отражает закономерности, наблюдаемые на территориях расположения объектов уранового наследия в России. Основной вклад в дозу облучения населения вносит внешнее облучение и радиоактивный газ радон (рис. 8).

В рамках данной работы, помимо отработки элементов РГМ, был выполнен анализ заболеваемости злокаче-

стелированной в публикации МКРЗ 103 и требованиях МАГАТЭ 2014 г. [12, 13].

Заключение

Плановая деятельность по обращению с ОЯТ и РАО, реализуемая в рамках национальной программы по реабилитации ядерного наследия, осуществляется оператором в строгом соответствии с нормами радиационной безопасности. Результаты РГМ показывают, что в ходе проведения запланированных реабилитационных работ на площадках ядерного наследия отсутствует негативное влияние на население и окружающую среду, связанное с проводимой деятельностью.

Вместе с тем, существует проблема восстановления территорий объектов наследия, загрязненных в результате прошлой деятельности. Это связано с существенными объемами промышленных отходов и очень низкоактивных радиоактивных отходов, сформировавшихся в окружающей среде в результате миграционных процессов из хранилищ ОЯТ и РАО, отвалов горных пород, хвостохранилищ и т.д. Результаты РГМ показывают, что при организации деятельности по обращению с ними необходимо принимать во внимание комплексный характер их загрязнения поллютантами радиационной и нерадиационной природы. В связи с этим приоритетным направлением является развитие методологии комплексного радиационно-химического мониторинга и совершенствование моделей оценок рисков радиационной и химической природы с учетом особенностей загрязнения реабилитируемого объекта.

Учитывая тот факт, что территории площадок уранового наследия находятся на территориях с повышенным уровнем природной радиоактивности, решение оператором вопросов обеспечения радиационной безопасности населения при их реабилитации должно быть скоординировано с реализацией комплекса мер, направленных на снижение облучения населения природными источниками облучения, обозначенных в Основах государственной политики обеспечения ядерной и радиационной безопасности, утвержденных президентом РФ в 2018 г.

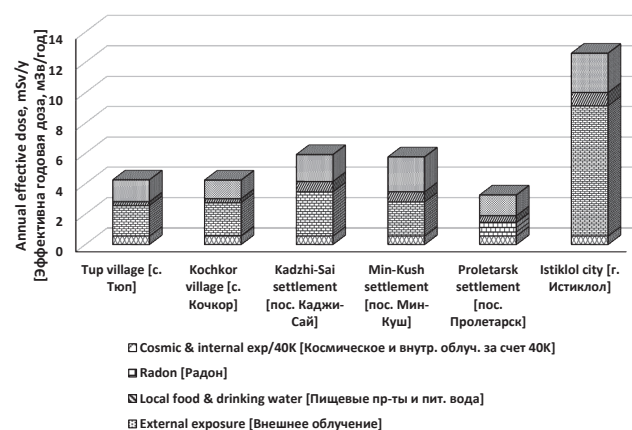


Рис. 8. Вклад различных источников излучения в индивидуальную эффективную годовую дозу облучения населения в исследуемых населенных пунктах Кыргызской Республики и Республики Таджикистан

[Fig. 8. Contribution of different sources into the individual annual effective dose to the public in the surveyed residential places in Kyrgyz Republic and Republic of Tajikistan]

ственными новообразованиями населения. Результаты работы опубликованы в брошюре [29].

Практический выход проведенных исследований

Результаты РГМ послужили основой для анализа и совершенствования методической базы регулирования защиты населения и окружающей среды в процессе выполнения реабилитационных работ на площадках наследия.

В частности, разработаны и утверждены руководства «Критерии и нормативы реабилитации», которые устанавливают численные значения ограничения облучения персонала и населения, а также загрязнения окружающей среды после проведения реабилитационных мероприятий на основных площадках ядерного и уранового наследия в России [30–33]. В методических указаниях [34–38] на основе анализа «наилучших практик» представлены вопросы организации радиационного контроля на различных этапах работ, выполняемых на площадках наследия. В методических рекомендациях [39, 40] изложены вопросы организации и приборного обеспечения работ по РГМ, а также методики определения радионуклидов в различных пробах.

При разработке этих документов были использованы положения новой системы радиационной защиты, по-

Литература

1. Уйба, В.В. Радиационно-гигиенический мониторинг: опыт и пути совершенствования радиационной безопасности населения, опубликованная в сборнике статей, посвященных 70-летию Федерального государственного бюджетного учреждения «Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна» (1946–2016 гг.) / В.В. Уйба, А.С. Самойлов, Н.К. Шандала, С.М. Киселев, Н.Я. Новикова, А.В. Титов, И.П. Коренков, А.А. Филонова, В.А. Серегин, Д.В. Исаев, С.В. Ахромеев, М.П. Семенова, Т.Н. Лашенкова, А.М. Лягинская, Т.И. Гимадова, В.В. Романов; Под общ. ред. Л.А. Ильина, В.В. Уйба, А.С. Самойлова. – М.: ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 2016. – 292 с.
2. Sneeve M.K., Shandala N., Kiselev S. [et al.] Radiation safety during remediation of the SevRAO facilities: 10 years of regulatory experience. Journal of Radiological Protection, 2015, Vol. 35, № 3, pp. 571–596.
3. Шандала, Н.К. Регулирующий надзор и оценка радиационной обстановки в районах размещения бывших военных технических баз / Н.К. Шандала, С.М. Киселев, В.А. Серегин [и др.] // Гигиена и санитария. – 2013. – № 3. – С. 15–19.

4. Шандала, Н.К. Обеспечение радиационной безопасности при реабилитации объектов СЗЦ «СевРАО» / Н.К. Шандала, С.М. Киселев, А.В. Титов [и др.] // Гигиена и санитария. – 2015. – Т. 94, № 5. – С. 10-16.
5. Шандала, Н.К. Радиационно-гигиенический мониторинг в районе размещения пункта временного хранения отработанного ядерного топлива и радиоактивных отходов в губе Андреева / Н.К. Шандала, А.А. Филонова, Е.С. Щелканова [и др.] // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2014. – Т. 59, № 2. – С. 5-12.
6. Shandala N.K., Kochetkov O.A., Savkin M.N. [et al.] Regulatory supervision of sites for spent fuel and radioactive waste storage in the Russian northwest. *Journal of Radiological Protection*, 2008, Vol. 28, № 4, pp. 453-465.
7. Shandala N.K. et al. Radiological criteria for remediation of sites for spent fuel and radioactive waste in the Russian Northwest. *Journal of Radiological Protection*, 2008, Vol. 28, № 4, pp. 479-489.
8. Киселев, С.М. Радиационно-гигиенический мониторинг в районе расположения Дальневосточного центра по обращению с радиоактивными отходами (ДВЦ «ДальРАО» – филиал ФГУП «РосРАО») / С.М. Киселев, Н.К. Шандала, С.В. Ахромеев [и др.] // Гигиена и санитария. – 2015. – № 5. – С. 49.
9. Ахромеев, С.В. Исследование радиационной обстановки на объектах ядерного наследия в Дальневосточном регионе России / Ахромеев С.В., Киселев С.М., Титов А.В. [и др.] // АНРИ. – 2016. – № 1 (84). – С. 65-71.
10. Shandala N.K., Kiselev S.M., Titov A.V. [et al.] Independent regulatory examination of radiation situation in the areas of spent nuclear fuel and radioactive wastes storage in the Russian Far East. *Radiation Protection Dosimetry*, 2011, Vol. 146, № 1-3, pp. 129-132.
11. Sneve M.K., Kiselev M.F., Shandala N.K. Radio-ecological characterization and radiological assessment in support of regulatory supervision of legacy sites in northwest Russia. *Journal of Environmental Radioactivity*, 2014, Vol. 131, pp. 110-118.
12. Киселёв, С.М. Оценка состояния природной среды в районах расположения объектов ядерного наследия в Дальневосточном регионе России / С.М. Киселёв, С.В. Ахромеев, С.А. Гераскин, А.А. Удалова, В.Г. Старинский, В.В. Шлыгин, Т.И. Гимадова, Н.К. Шандала // Вопросы радиационной безопасности. – 2017. – № 4. – С. 27-42.
13. Удалова, А.А. Оценка цито и генотоксичности подземных вод, отобранных на промплощадке дальневосточного центра по обращению с радиоактивными отходами / А.А. Удалова, С.В. Пяткова, С.А. Гераскин, С.М. Киселёв, С.В. Ахромеев // Радиационная биология и радиоэкология. – 2016. – Т. 56, № 2. – С. 208-219.
14. International Atomic Energy Agency, Release of Sites from Regulatory Control on Termination of Practices. IAEA Safety Standards Series No. WS-G-5.1, IAEA, Vienna (2006).
15. Научно методическое обеспечение работ по реабилитации радиационно-опасных объектов в Дальневосточном и Северо-Западном регионах России» (шифр «Территория-17»). Отчет. Этап 2. ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России. – М., 2017.
16. Решение Экономического совета СНГ о докладе «Реабилитация территорий государств-участников Содружества Независимых Государств, подвергшихся деятельности урановых производств» (Вместе с Рабочей группой по подготовке Доклада) (Принято в г. Москве 27.12.2006)
17. Шандала, Н.К. Радиоэкологическая обстановка в районе расположения Приаргунского производственного горно-химического объединения / Н.К. Шандала, М.П. Семенова, Д.В. Исаев [и др.] // Гигиена и санитария. – 2014. – Т. 93, № 4. – С. 14-18.
18. СП ЛКП-91. Санитарные правила ликвидации, консервации и перепрофилирования предприятий по добыче и переработке радиоактивных руд. МЗ СССР, 1991 г.
19. Шандала, Н.К. Оценка влияния последствий ливневых дождей на радиационную обстановку в районе расположения штольни № 16 бывшего предприятия ЛПО «Алмаз» / Н.К. Шандала, А.В. Титов, Д.В. Исаев, М.П. Семенова, В.А. Серегин, Т.В. Остапчук, В.В. Шлыгин, В.Г. Старинский, Р.А. Старинская // Медицина экстремальных ситуаций. – 2017. – № 2 (60), С. 202-207.
20. Шандала, Н.К. Радиационно-гигиенический мониторинг на объектах ядерного и уранового наследия / Н.К. Шандала, С.М. Киселёв, А.В. Титов, И.П. Коренков // Гигиена и Санитария. – 2017. – Т. 96, № 9. – С. 813-817.
21. Титов, А.В. Радиационная обстановка на объекте бывшего предприятия ЛПО «Алмаз» / А.В. Титов, Н.К. Шандала, А.М. Маренный, Т.В. Остапчук, Н.А. Нефедов, Д.В. Исаев, М.П. Семенова, В.И. Астафуров, В.Г. Старинский, В.В. Шлыгин // Гигиена и Санитария. – 2017. – Т. 96, № 9. – С. 822-826.
22. Шандала, Н.К. Радиационно-гигиенический мониторинг в районе расположения урановых шахт в Забайкалье / Н.К. Шандала, А.В. Титов, Е.А. Хохлова, Д.В. Исаев, С.Б. Золотухина, Л.А. Журавлева, В.В. Шлыгин // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2014. – Т. 59, № 4. – С. 5-8.
23. Маренный, А.М. Обследование города Краснокаменск на содержание радона в помещениях / А.М. Маренный, С.М. Киселев, А.В. Титов [и др.] // Радиационная гигиена. – 2013. – Т. 6 № 3. – С. 47-52.
24. Уйба, В.В. Проблемы безопасности населения на территориях с природными и техногенными факторами радиации на примере района влияния Приаргунского горно-химического комбината / В.В. Уйба, М.Ф. Киселев, В.В. Романов [и др.] // Биосфера. – 2009. – Т. 1, № 1. – С. 101-105.
25. Шандала, Н.К. Радиационная обстановка в городе Краснокаменск / Шандала Н.К., Исаев Д.В., Гимадова Т.И. [и др.] // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2015. – Т. 60, № 6. – С. 10-14.
26. Шандала, Н.К. Радиационная обстановка на рабочих местах персонала наземных объектов приаргунского производственного горно-химического объединения / Н.К. Шандала, А.М. Маренный, Д.В. Исаев, А.В. Титов, С.М. Киселев, М.П. Семенова, Н.А. Нефедов, В.И. Астафуров, Л.А. Журавлёва, М.А. Маренный, Е.А. Хохлова, В.В. Уйба // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2017. – Т. 62, № 5. – С. 21-27.
27. Ujba V.V., Kiselev M.F., Romanov V.V., Shandala N.K., Khohlova E.A. Life on the fault: investigation results. *Environmental safety*, 2007, No 2, pp. 68-71.
28. Titov A.V., Semenova M.P., Seregin V.A., Isaev D.V., Metlyayev E.G., Glagolev A.V., Klimova T.I., Sevintova E.B., Zolotukhina S.B., Zhuravleva L.A. Radio-Ecological Conditions of Groundwater in the Area of Uranium Mining and Milling Facility – 13525. United States: N. p., 2013. Web.
29. Мониторинг здоровья населения и состояния окружающей среды в районах бывших урановых производств в Центральной Азии. // ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России. – М., 34 с.
30. Р 2.6.1.012-14 Критерии и нормативы реабилитации территорий и объектов ФГУП «Дальневосточный центр по обращению с радиоактивными отходами» – филиала федерального государственного унитарного предприятия по обращению с радиоактивными отходами «РосРАО».
31. Р 2.6.1.25-07 Критерии и нормативы реабилитации территорий и объектов, загрязненных техногенными радионуклидами, ФГУП «Северное федеральное предприятие по обращению с радиоактивными отходами» Федерального агентства по атомной энергии.
32. Р 2.6.5.048 – 2017. Критерии реабилитации территорий и объектов предприятий по добыче и переработке урановых руд: Руководство. – М., Федеральное медико-биологическое агентство, 2017 г.

33. Р 2.6.5.026-15 Обеспечение радиационной безопасности персонала и населения при проведении работ по реабилитации загрязненных радионуклидами участков территории.
34. МУ 2.6.5.053 – 2018. Проведение радиационного контроля при рекультивации территорий, загрязненных в результате деятельности предприятий по добыче и переработке урановых руд – М., Федеральное медико-биологическое агентство, 2018 г.
35. МУ 2.6.5.068-2018. Обеспечение радиационной безопасности персонала, населения и окружающей среды при рекультивации территорий, загрязненных в результате деятельности предприятий по добыче и переработке урановых руд – М., Федеральное медико-биологическое агентство, 2018 г.
36. МУ 2.6.6.049-2015 Организация радиационного контроля при производстве работ по извлечению, подготовке для транспортирования и вывозу радиоактивных отходов из хранилищ отделения «Вилючинск» ДВЦ «ДальРАО» – филиала ФГУП «РосРАО».
37. МУ 2.6.1.030-13 Организация радиационного контроля объектов окружающей среды в районе деятельности Дальневосточного центра по обращению с радиоактивными отходами – филиала ФГУП «Предприятие по обращению с радиоактивными отходами «РОСПАО» (ДВЦ «ДальРАО» – филиал ФГУП РосРАО»).
38. МУ 2.6.1.37- 2007 «Организация радиационного контроля объектов окружающей среды в районе деятельности ФГУП «СевРАО».
39. МР 03.25-15 Приборное обеспечение работ по радиационно-гигиеническому мониторингу в районе расположения предприятия по обращению с радиоактивными отходами.
40. МР №35-14 «Организация и проведение мероприятий по снижению содержания изотопов радона в помещениях жилых и общественных зданий и сооружений».
41. Публикация 103 Международной Комиссии по Радиационной защите / пер. с англ., под ред. М.Ф. Киселева и Н.К. Шандалы. – М.: Изд. ООО ПКФ «Алана», 2009. – 312 с.
42. IAEA Library Cataloguing in Publication Data Radiation protection and safety of radiation sources: international basic safety standards. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2014, № GSR Part 3, 518 p.

Поступила: 03.06.2019 г.

Шандала Наталия Константиновна – доктор биологических наук, заместитель генерального директора по

науке и биофизическим технологиям, Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна Федерального медико-биологического агентства России, Москва, Россия

Киселев Сергей Михайлович – кандидат биологических наук, заведующий лабораторией регулирующего надзора за объектами ядерного наследия, Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна Федерального медико-биологического агентства России. **Адрес для переписки:** 123098, Москва, ул. Живописная, 46; E-mail: sergbio@gmail.com

Титов Алексей Викторович – старший научный сотрудник, Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна Федерального медико-биологического агентства России, Москва, Россия

Для цитирования: Шандала Н.К., Киселев С.М., Титов А.В. Научно-практический опыт надзорной деятельности в области обеспечения защиты населения и окружающей среды на объектах ядерного наследия России // Радиационная гигиена. – 2019. – Т. 12, № 2 (Спецвыпуск). – С. 83-96. DOI: 10.21514/1998-426X-2019-10-2s-83-96.

Scientific and practical experience of supervisory activities in the field of the public and environmental protection at the Russian nuclear legacy sites

Nataliya K. Shandala, Sergey M. Kiselev, Aleksey V. Titov

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

Today, Russia is implementing a national program for the remediation of legacy sites, resulting from the activities of the nuclear industry, the use of nuclear energy for military purposes, and due to radiation accidents and emergencies. Main priority is given to the health care provision issues of the workers and the population living in the vicinity of the targeted facilities. These tasks are under the regulatory responsibility of

Sergey M. Kiselev

State Research Center Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency

Address for correspondence: Zhivopisnaya str, 46, Moscow, 123098, Russia; E-mail: sergbio@gmail.com

the FMBA of Russia. Since the beginning of the development of the nuclear industry in the country, the Institute of Biophysics, technical supporting organization of the FMBA of Russia (now the State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center Federal Medical Biological Agency (SRC-FMBC)), has been a leading institute in the scientific and methodological support of public radiation safety in the vicinity of radiation hazardous facilities serviced by the FMBA of Russia. In this regard, radiation-hygienic monitoring has always served as the main regulatory tool for more than 60 years. The paper describes the results of long-term monitoring (2005-2018) at the former coastal technical bases of the Russian Navy (now – sites for temporary storage of SNF and RW in the Russian Northwest and Far East (nuclear legacy sites); sites of the uranium mining and milling facilities: Priargun Mountain Chemical Association and former Production Association “Almaz” (Lermontov, Stavropol Krai); and at uranium legacy sites of the Central Asia (Republic of Tajikistan and Kyrgyz Republic). The peculiarities of radiation situation at the sites are discussed, current challenges identified, and further regulatory improvements presented based on the gained experience.

Key words: nuclear legacy, uranium legacy, monitoring, public exposure, environment, non-radioactive contamination, risk assessment, regulatory documents.

References

1. Uyba V.V., Samoylov A.S., Shandala N.K., Kiselev S.M., Novikova N.Ya., Titov A.V., Korenkov I.P., Filonova A.A., Seregin V.A., Isaev D.V., Akhromeev S.V., Semenova M.P., Lashchenova T.N., Lyaginskaya A.M., Gimadova T.I., Romanov V.V. Radiation-hygienic monitoring: experience and approaches to the improvement of the radiation safety of the public. Published in a compendium of manuscripts devoted to the 70th anniversary of Federal state budgetary organization “State scientific center of the Russian Federation – Federal medical biophysical center after A.I. Burnazyan” (1946-2016). Ed. By L.A. Ilyin, V.V. Uyba, A.S. Samoilov. FGBU GNC FMBC after A.I. Burnazyan of the FMBA of Russia, 2016, 292 p. (In Russian)
2. Sneve M.K., Shandala N., Kiselev S. [et al.] Radiation safety during remediation of the SevRAO facilities: 10 years of regulatory experience. Journal of Radiological Protection, 2015, Vol. 35, № 3, pp. 571-596.
3. Shandala N.K., Kiselev S.M., Seregin V.A. [et al.] Regulative surveillance and assessment of the radiation situation in the locations of the former military technical bases. Gigiena i sanitariya = Hygiene and sanitary, 2013, № 3, pp. 15-19. (In Russian)
4. Shandala N.K., Kiselev S.M., Titov A.V. [et al.] Provision of the radiation safety during the remediation of the facilities of the SZC “SevRAO”. Gigiena i sanitariya = Hygiene and sanitary, 2015, Vol. 94, № 5, pp. 10-16. (In Russian)
5. Shandala N.K., Filonova A.A., Shchelkanova E.S. [et al.] Radiation-hygienic monitoring in the area of location of the temporary spent nuclear fuel and radiation waste storage in Andreeva guba. Meditsinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost = Medical radiology and radiation safety, 2014, Vol. 59, № 2, pp. 5-12. (In Russian)
6. Shandala N.K., Kochetkov O.A., Savkin M.N. [et al.] Regulatory supervision of sites for spent fuel and radioactive waste storage in the Russian northwest. Journal of Radiological Protection, 2008, Vol. 28, № 4, pp. 453-465.
7. Shandala N.K., Titov A.V., Novikova N.Ya., Romanov V.V. Radiological criteria for remediation of sites for spent fuel and radioactive waste in the Russian Northwest. Journal of Radiological Protection, 2008, Vol. 28, № 4, pp. 479-489.
8. Kiselev S.M., Shandala N.K., Akhromeev S.V. [et al.] Radiation-hygienic monitoring in the area of location of the Far-East center of the radioactive waste management (DVC “DalRAO” – branch of the FGUP “RosRAO”). Gigiena i sanitariya = Hygiene and sanitary, 2015, № 5, pp. 49. (In Russian)
9. Akhromeev S.V., Kiselev S.M., Titov A.V. [et al.] Survey on the radiation situation on the nuclear legacy facilities in the Far-East region of Russia. ANRI = ANRI, 2016, № 1 (84), pp. 65-71. (In Russian)
10. Shandala N.K., Kiselev S.M., Titov A.V. [et al.] Independent regulatory examination of radiation situation in the areas of spent nuclear fuel and radioactive wastes storage in the Russian Far East. Radiation Protection Dosimetry, 2011, Vol. 146, № 1-3, pp. 129-132.
11. Sneve M.K., Kiselev M.F., Shandala N.K. Radio-ecological characterization and radiological assessment in support of regulatory supervision of legacy sites in northwest Russia. Journal of Environmental Radioactivity, 2014, Vol. 131, pp. 110-118.
12. Kiselev S.M., Akhromeev S.V., Geraskin S.A., Udalova A.A., Starinskiy V.G., Shlygin V.V., Gimadova T.I., Shandala N.K. Assessment of the environmental condition in the area of location of the nuclear legacy facilities in the Far-East region of Russia. Voprosy radiatsionnoy bezopasnosti = Issues of the radiation safety, 2017, № 4, pp. 27-42. (In Russian)
13. Udalova A.A., Pyatkova S.V., Geraskin S.A., Kiselev S.M., Akhromeev S.V. Assessment of cyto- and genotoxicity of the ground water sampled on the industrial site of the Far-East center of radioactive waste management. Radiatsionnaya biologiya i radioekologiya = Radiation biology and radioecology, 2016, Vol. 56, № 2, pp. 208-219. (In Russian)
14. International Atomic Energy Agency, Release of Sites from Regulatory Control on Termination of Practices. IAEA Safety Standards Series No. WS-G-5.1, IAEA, Vienna (2006).
15. Scientific-methodical provision of the activities on the remediation of the radiation-hazardous facilities in the Far-East and North-West regions of Russia (code “Territory-17”). Report. Stage 2. FGBU GNC FMBC after A.I. Burnazyan of the FMBA of Russia, Moscow, 2017. (In Russian)
16. Decision of the Economical Board of the CIS on the report “Remediation of the territories of the states-members of the CIS, affected by the activities of uranium industries” (Joint with the Workgroup on the preparation of the report). Approved in Moscow 27.12.2006. (In Russian)
17. Shandala N.K., Semenova M.P., Isaev D.V. [et al.] Radioecological situation in the area of location of Priargunskiy industrial mining-chemical enterprise. Gigiena i sanitariya = Hygiene and sanitary, 2014, Vol. 93, № 4, pp. 14-18. (In Russian)
18. SP LKP-91 Sanitary rules on termination, conservation and profiling of the facilities of the extraction and processing of radioactive ores. MZ USSR, 1991. (In Russian)
19. Shandala N.K., Titov A.V., Isaev D.V., Semenova M.P., Seregin V.A., Ostapchuk T.V., Shlygin V.V., Starinskiy V.G., Starinskaya R.A. Assessment of the impact of the consequences of the rain shower precipitation on the radiation situation in the area of location of the gallery 16 of the former factory LPO “Almaz”. Meditsina ekstremalnykh situatsiy = Medicine of extremal conditions, 2017, №2 (60), pp. 202-207. (In Russian)
20. Shandala N.K., Kiselev S.M., Titov A.V., Korenkov I.P. Radiation-hygienic monitoring on the nuclear and uranium legacy facilities. Gigiena i Sanitariya = Hygiene and sanitary, 2017, Vol. 96, No. 9, pp. 813-817. (In Russian)
21. Titov A.V., Shandala N.K., Marennyy A.M., Ostapchuk T.V., Nefedov N.A., Isaev D.V., Semenova M.P., Astafurov V.I.,

- Starinskiy V.G., Shlygin V.V. Radiation situation on the facility of the former factory LPO "Almaz". *Gigiena i Sanitariya = Hygiene and sanitary*, 2017, Vol. 96, №9, pp. 822-826. (In Russian)
22. Shandala N.K., Titov A.V., Khokhlova E.A., Isaev D.V., Zolotukhina S.B., Zhuravleva L.A., Shlygin V.V. Radiation-hygienic monitoring in the area of location of the uranium mine in Zabaykalye. *Meditinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost = Medical radiology and radiation safety*, 2014. Vol. 59, № 4. pp. 5-8. (In Russian)
 23. Marennyy A.M., Kiselev S.M., Titov A.V. [et al.] Survey of the Krasnokamensk city on the radon concentration in the habitats. *Radiatsionnaya gigiena = Radiation Hygiene*, 2013, Vol. 6, No. 3, pp. 47-52. (In Russian)
 24. Uyba V.V., Kiselev M.F., Romanov V.V. [et al.] Problems of the safety of the public on the territories with natural and technogenic radiation factors on the example of the area of Priargunskiy mining-chemical combine. *Biosfera = Biosphere*, 2009. Vol. 1, № 1, pp. 101-105. (In Russian)
 25. Shandala N.K., Isaev D.V., Gimadova T.I. [et al.] Radiation situation in the Krasnokamensk city. *Meditinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost = Medical radiology and radiation safety*, 2015, Vol. 60, № 6, pp. 10-14. (In Russian)
 26. Shandala N.K., Marennyy A.M., Isaev D.V., Titov A.V., Kiselev S.M., Semenova M.P., Nefedov N.A., Astafurov V.I., Zhuravleva L.A., Marennyy M.A., Khokhlova E.A., Uyba V.V. Radiation situation on the staff workplaces of the ground facilities of the Priargunskiy industrial mining-chemical combine. *Meditinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost = Medical radiology and radiation safety*, 2017, Vol. 62, № 5, pp. 21-27. (In Russian)
 27. Uyba V.V., Kiselev M.F., Romanov V.V., Shandala N.K., Khokhlova E.A. Life on the fault: investigation results. *Environmental safety*, 2007, No 2, pp. 68-71.
 28. Titov A.V., Semenova M.P., Seregin V.A., Isaev D.V., Metlyaev E.G., Glagolev A.V., Klimova T.I., Sevtnova E.B., Zolotukhina S.B., Zhuravleva L.A. Radio-Ecological Conditions of Groundwater in the Area of Uranium Mining and Milling Facility – 13525. United States: N. p., 2013. Web.
 29. Monitoring of the health of the public and environmental conditions in the locations of the former uranium industries in Central Asia/ FGBU GNC FMBC after A.I. Burnazyan of the FMBA of Russia, Moscow, 34 p. (In Russian)
 30. R 2.6.1.012-14. Criteria and norms of the remediation of the territories and facilities of FGUP "Far-East center on radioactive waste management" – branch of the federal state unitary facility on radiation waste management "RosRAO". (In Russian)
 31. R 2.6.1.25-09 Criteria and norms of the remediation of the territories and facilities contaminated with technogenic radionuclides, FGUP "North federal facility on radioactive waste management" federal agency on nuclear energy. (In Russian)
 32. R 2.6.5.048-2017. Criteria of the remediation of the territories and industrial facilities on mining and refining of the uranium ore: Guidebook. M. Federal medical-biological agency, 2017. (In Russian)
 33. R 2.6.5.026-15 Provision of the radiation safety of the staff and public during the activities on remediation of the areas contaminated with radionuclides. (In Russian)
 34. MU 2.6.5.053-2018. Radiation control during the remediation of the territories contaminated as a result of the activities of the uranium ore mining and refining facilities, 2018. (In Russian)
 35. MU 2.6.5.068-2018. Provision of the radiation safety of the staff public and environment during the remediation of the territories contaminated as a result of the activities of the uranium ore mining and refining facilities. M. Federal medical-biological agency, 2018. (In Russian)
 36. MU 2.6.6.049-2015. Radiation control during the activities on extraction, preparation and transportation of the radioactive wastes from the storages of the "Viluchinsk" department of DVC "DalRao", branch of FGUP "RosRAO". (In Russian)
 37. MU 2.6.1.030-13 Radiation control of the objects of the environment in the area of activity of the Far-East center on the radioactive waste management – branch of FGUP "Facility on radioactive waste management "ROSRAO" (DVC "DalRao", branch of FGUP "RosRAO") (In Russian)
 38. MU 2.6.1.37-2007. Radiation control of the objects of the environment in the area of activity of the FGUP "SevRaO" (In Russian)
 39. MR 03.25-15 Provision of the equipment for the activities on the radiation-hygienic monitoring in the area of location of the facility on the radioactive waste management. (In Russian)
 40. MR № 25-14. Organization of the activities on the reduction of the radon isotopes in the premises of the residential and public buildings and constructions (In Russian)
 41. ICRP, 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2-4). (In Russian)
 42. IAEA Library Cataloguing in Publication Data Radiation protection and safety of radiation sources: international basic safety standards. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2014, № GSR Part 3, 518 p.

Received: June 03, 2019

Nataliya K. Shandala – M.D., Ph.D., Science and Biophysics Technologies Deputy Director General, Doctor of Medical Science, State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia

For correspondence: Sergey M. Kiselev – Ph.D.in biol., Head of laboratory on regulatory supervisor of nuclear legacy sites, State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency (Zhipovisnaya ul., 46, Moscow, 123098, Russia; E-mail: sergbio@gmail.com)

Aleksey V. Titov – senior researcher, State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia

For citation: Shandala N.K., Kiselev S.M., Titov A.V. Scientific and practical experience of supervisory activities in the field of the public and environmental protection at the Russian nuclear legacy sites. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene, 2019, Vol. 12, No. 2 (special issue), pp. 83-96. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426x-2019-12-2s-83-96.

Национальные радоновые программы: опыт реализации и задачи на перспективу

А.М. Маренный¹, С.М. Киселев²

¹Научно-технический центр радиационно-химической безопасности и гигиены Федерального медико-биологического агентства России, Москва, Россия

²Государственный научный центр Российской Федерации — Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна Федерального медико-биологического агентства России, Москва, Россия

В статье рассмотрены основные этапы становления исследований в России по воздействию природных источников ионизирующих излучений, преимущественно радона, на население. Особое внимание уделено первой в нашей стране федеральной программе, направленной на решение «радоновой проблемы» — Федеральной целевой программе «Радон» (1994–1996). Приведены сведения об организационной структуре, основных направлениях и результатах работ по Федеральной целевой программе. В частности, отмечено, что за короткий период были созданы документы, которые легли в основу действующей в стране нормативной и методической базы регулирования радиационной безопасности при воздействии природных источников ионизирующих излучений, начали проводиться обследования населенных пунктов на содержание радона в помещениях, включая обследования интегральным методом, заложены основы системы оценки радоноопасности участков, отводимых под новое строительство, были разработаны региональные программы «Радон». Экономическая ситуация тех лет не позволила в полной мере реализовать намеченный комплекс мер на федеральном и региональном уровнях. Отмечается, что деятельность по Федеральной целевой программе «Радон» создала предпосылки для последующих более масштабных работ в области природных источников ионизирующих излучений в период после 2000 г. Во второй части статьи изложено современное видение «радоновой проблемы» глазами международных организаций, действовавших в области развития подходов к совершенствованию радиационной защиты населения от источников природного облучения. Кратко представлена эволюция представлений о регулировании радоновой проблемы, отраженная в документах ВОЗ, НКДАР ООН, МАГАТЭ, МКРЗ. Уделено внимание практическим аспектам реализации радоновых программ за рубежом. Обсуждены проблемы и пути их решения. Очевидным представляется вывод о том, что решение радоновой проблемы возможно только при использовании системного подхода, в основе которого лежит совершенствование культуры безопасности населения для обеспечения комфортности своей среды обитания.

Ключевые слова: природные источники ионизирующего излучения, радон, федеральная целевая программа, радоновая проблема, облучение населения, обследования, доза, жилые и общественные здания.

Введение

В настоящее время известно, что природные источники ионизирующих излучений (ПИИИ) являются основным фактором облучения населения, профессионально не связанного с добычей полезных ископаемых, переработкой урановых руд, атомной энергетикой и т.д. Тем не менее, первые исследования облучения населения ПИИИ начались примерно во второй половине XX в. Было установлено, что основным действующим фактором в отношении населения являются газы радон и торон (обычно называемые изотопы радона), радиоактивные продукты распада дочерних продуктов в цепочках радиоактивных семейств урана-238 и тория-232, которые присутствуют в той или иной мере в грунтах на всех территориях [1]. Радон, попадающий и при определенных условиях накап-

ливающийся в воздухе помещений, при его вдыхании является одним из ведущих факторов, обуславливающих повышенную вероятность заболеваний раком легких [2]. Ввиду этого появился и широко используется профессиональный термин «радоновая проблема», под которым обычно понимают совокупность обстоятельств, с которыми приходится иметь дело при проведении мероприятий, способствующих снижению содержания радона в среде обитания человека и уменьшению медицинских последствий вдыхания радона.

В решении «радоновой проблемы» в нашей стране можно выделить несколько периодов. В 1970–1980-е гг. работы проводились усилиями энтузиастов в нескольких направлениях. На основе изучения облучения радоном шахтеров урановых рудников и работников различных

Маренный Альберт Михайлович

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

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

других производств, проводившегося с начала 1950-х гг., были осуществлены первые эпидемиологические исследования, созданы первые образцы приборов для радоновых измерений, сформулированы подходы и временные требования к проведению обследований по оценке содержания радона в воздухе помещений. Результаты работ по радоновой проблеме в этот период времени наиболее полно изложены в ряде отечественных публикаций [3–7].

Второй период (1990-е гг.) практически целиком проходил «под флагом» Федеральной целевой программы «Радон»¹. На этапе её подготовки, в период действия и после его окончания, вплоть до 2000 г. были созданы документы, которые легли в основу действующей в стране нормативной базы регулирования, начали проводиться обследования населенных пунктов на содержание радона в помещениях, включая обследования интегральным методом, заложены основы системы оценки радоноопасности участков, отводимых под новое строительство. Однако недостаточное финансирование стало основной причиной прекращения действия программы, что не позволило в полной мере реализовать намеченный комплекс мер на национальном и региональном («запуск» региональных целевых программ «Радон») уровнях.

Третий этап – деятельность в рамках федеральных целевых программ (ФЦП) «Ядерная и радиационная безопасность России на 2000–2006 годы»², «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года»³ и «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016–2020 годы и на период до 2030 года»⁴. В рамках программ силами научных коллективов Роспотребнадзора, ФМБА России и других организаций была разработана и поставлена на систематическую основу организация сбора данных по облучению населения природными источниками облучения с применением мгновенных и интегральных методов измерений, проведены научные исследования, связанные с различными аспектами ПИИИ, усовершенствована и расширена имеющаяся нормативная и методическая база, создана и

поддерживалась система банков и баз данных по ПИИИ и т.д. Подчеркнута необходимость и намечены мероприятия, связанные с природными источниками, в ключевом документе стратегического планирования в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности до 2025 г. и на перспективу⁵.

В настоящее время регулированию ситуации облучения населения радоном в связи с ее глобальностью и значимостью уделено особое внимание в международных документах ВОЗ, МКРЗ, МАГАТЭ [8–10]. Опираясь на рекомендации международных организаций, Европейская комиссия в 2014 г. выпустила новые стандарты безопасности, обязывающие разработать и ввести в действие национальные радоновые программы [11].

В настоящей статье представлены сведения о периоде становления практической деятельности по решению радоновой проблемы в России – втором периоде по представленной выше классификации⁶. Кроме того, представлены предложения по реализации последних рекомендаций международных организаций в России в рамках предстоящей деятельности по решению радоновой проблемы.

Прежде чем перейти к основному содержанию данной статьи, нам представляется уместным и необходимым отметить вклад нескольких поколений советских и российских исследователей, часть которых являются учителями и коллегами авторов, в решение различных аспектов, связанных с изучением механизмов генерации, обнаружения, проникновения и распространения радона, а также собственно решения «радоновой проблемы», в частности – Ю.Т. Капитанова, К.П. Маркова, Г.Ф. Новикова, А.С. Сердюковой, Ю.П. Булашевича, И.А. Лучина, В.А. Максимовского, А.В. Мальцева, И.М. Хайковича, Э.М. Крисюка, М.В. Глушинского, И.И. Гусарова, И.П. Павлова, Л.С. Рузера, В.К. Титова, И.Л. Шалаева, Г.И. Гнеушевой, В.С. Кушневой, В.М. Бондаренко, Ф.И. Зуевича, В.И. Уткина, В.П. Рудакова, Л.А. Гулябанца, И.П. Коренкова, Л.В. Малевича, Ю.В. Кузнецова, А.Т. Губина, В.А. Николаева, И.П. Стамата, М.В. Терентьева, М.В. Жуковского, И.В. Ярмошенко,

¹ Постановление Правительства Российской Федерации от 06.07.94 г. № 809 «О федеральной целевой программе снижения уровня облучения населения России и производственного персонала от природных радиоактивных источников на 1994–1996 годы (ФЦП «Радон»)». [Resolution of the Government of the Russian Federation of 06.07.94 No. 809 "On the Federal target program for reducing the level of exposure of the Russian population and production personnel from natural radioactive sources for 1994–1996 (FTP "Radon")" (in Russian)]

² Постановление Правительства Российской Федерации от 22 февраля 2000 г. № 149 «О федеральной целевой программе «Ядерная и радиационная безопасность России» на 2000–2006 годы». [Resolution of the Government of the Russian Federation of 22 February 2000 No. 149 «On the Federal target programme «Nuclear and radiation safety of Russia» on 2000–2006» (in Russian)]

³ Постановление Правительства Российской Федерации от 13 июля 2007 г. № 444 «О федеральной целевой программе «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года». [Resolution of the Government of the Russian Federation of July 13, 2007 №444 «On the Federal target program «Nuclear and radiation safety on 2008 and for the period up to 2015» (in Russian)]

⁴ Постановление Правительства Российской Федерации от 19 ноября 2015 г. № 1248 «О федеральной целевой программе «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016–2020 годы и на период до 2030 года» [Resolution of the Government of the Russian Federation of November 19, 2015 № 1248 «On the Federal target program «Nuclear and radiation safety on 2016–2020 and for the period up to 2030» (in Russian)]

⁵ Указ Президента Российской Федерации от 13.10.2018 г. № 585 «Об утверждении Основ государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации на период до 2025 года и дальнейшую перспективу». [Decree of the President of the Russian Federation of 13.10.2018 r. № 585 «On approval of the State policy in the field of nuclear and radiation safety of the Russian Federation for the period up to 2025 and beyond» (in Russian)]

⁶ В связи с ограниченностью объема статьи сведения о третьем периоде авторы намерены представить в последующей публикации.

П.П. Фирстова, П.С. Микляева, А.А. Цапалова, С.А. Кургуза, В.С. Яковлевой, Р.И. Паровика, А.В. Климшина, И.А. Козловой и многих других.

Статья посвящается памяти докторов наук, сотрудников НИИРГ Крисюка Эдуарда Мечиславовича и Стамата Ивана Павловича, наших коллег и товарищей, сыгравших огромную роль в событиях, часть которых отображена в статье, и внесших большой личный вклад при рассмотрении многих научных и практических аспектов радоновой проблемы.

1. Федеральной целевой программе «РАДОН» – 25 лет

При решении вопросов обеспечения радиационной и радиационно-экологической безопасности внимание органов власти и населения страны традиционно концентрировалось главным образом на источниках радиационной опасности, связанных с освоением и применением атомной энергии в мирных и военных целях. По существующим возможностям финансовые средства направлялись на программы реабилитации населения и территорий, подвергшихся загрязнению искусственными радионуклидами в результате функционирования объектов атомной промышленности, атомного флота и т.д. Важность природных источников ионизирующего излучения (ПИИИ) как основного фактора радиационного воздействия на население явно недооценивалась.

В нашей стране исследования ПИИИ как фактора облучения населения, не связанного профессионально с атомной энергетикой, добычей и переработкой урановых и иных руд, атомным транспортом и т.д., были начаты примерно 40 лет назад [12]. Сначала это было изучение содержания естественных радионуклидов в сырье, добываемом практически на всех основных месторождениях СССР и используемом для производства строительных материалов и других изделий, применяющихся в быту [13]. Практически в этот же период в стране начались первые исследования уровней облучения населения ПИИИ [4, 14]. Анализ даже небольшого количества измерений того периода свидетельствовал о наличии в стране ряда районов, опасных по природным источникам ионизирующего излучения (Белокуриха, Выборг, Краснокаменск, Пятигорск и др.). Из оценок следовало, что около 70% суммарной дозы облучения населения могут быть обусловлены ПИИИ. В тот же период, в 1990 г., был утвержден нормативный документ [15], в котором впервые были сформулированы временные требования, направленные на ограничение облучения населения за счет природных радионуклидов в среде обитания. Принятые нормативы по ЭРОА изотопов радона в воздухе жилых и общественных зданий в последующем вошли в НРБ-96 (ГН 2.6.1.054-96) [Hygienic standards (GN 2.6.1.054-96) (In Russian)], НРБ-99 (СП 2.6.1.758-99) [Hygienic standards (SP 2.6.1.758-99) (In Russian)] и НРБ-99/2009 (СанПиН 2.6.1.2523-09) [Sanitary and epidemiological rules and regulations SanPiN 2.6.1.2523-09 (In Russian)] практически без изменений.

Во второй половине 1980-х гг. в стране начались разработки аппаратуры, специально предназначенной для измерения активности природных радионуклидов в объектах окружающей среды, постепенно накапливались данные о содержании изотопов радона в зданиях на территории отдельных субъектов РФ. Однако эти данные были достаточно разрозненными, их получение часто базировалось на энтузиазме отдельных специалистов. Нередко достоверность результатов измерений вызывала сомнения, в том числе в связи с отсутствием метрологического обеспечения и ошибками в формировании выборок для оценки уровней природного облучения отдельных групп населения.

Стало очевидным, что решение проблемы, как на отдельных территориях, так и в целом по стране возможно только в рамках целевой программы. Поэтому знаковым событием первой половины 1990-х гг. было принятие Правительством РФ, несмотря на известные трудности того периода, постановления об утверждении «Федеральной целевой программы снижения уровней облучения населения России и производственного персонала от природных радиоактивных источников на 1994–1996 годы» (ФЦП «Радон»)⁷. Государственными заказчиками программы были определены Министерство охраны окружающей среды и природных ресурсов Российской Федерации и Государственный комитет санитарно-эпидемиологического надзора Российской Федерации.

Органом исполнительной власти субъектов Российской Федерации по согласованию с государственными заказчиками программы «Радон» рекомендовано разработать и утвердить региональные программы неотложных мер по снижению уровня облучения населения и производственного персонала от ПИИИ (РЦП «Радон») и осуществлять их финансирование за счет средств бюджетов субъектов Российской Федерации, местных бюджетов и внебюджетных источников. В поддержку этого Приказом Минприроды РФ №246 от 11.08.94 г. и Приказом Госкомсанэпиднадзора №118 от 06.10.94 г. руководителям соответствующих территориальных служб было поручено внести предложения в органы исполнительной власти субъектов Российской Федерации по разработке, утверждению и финансированию региональных программ «Радон».

По общему замыслу цели федеральной и региональных программ «Радон» совпадали: обследование облучения населения и производственного персонала природными источниками ионизирующих излучений, изучение закономерностей формирования доз облучения и разработка и осуществление мероприятий по снижению облучения населения и персонала.

Однако задачи федеральной и региональных программ существенно отличались. В рамках федеральной программы должны решаться общегосударственные задачи: разработка нормативных и методических документов; создание и организация серийного выпуска измерительной аппаратуры; метрологическое обеспечение измере-

⁷ Постановление Правительства Российской Федерации от 06.07.94 г. № 809 «О федеральной целевой программе снижения уровня облучения населения России и производственного персонала от природных радиоактивных источников на 1994–1996 годы (ФЦП «Радон»)». [Resolution of the Government of the Russian Federation of 06.07.94 No. 809 "On the Federal target program for reducing the level of exposure of the Russian population and production personnel from natural radioactive sources for 1994 – 1996 (FTP "Radon")"] (in Russian)]

ний; разработка методов прогнозирования содержания радона в воздухе проектируемых зданий и сооружений; разработка способов снижения облучения; методов медицинской профилактики для групп населения, подвергающихся повышенному облучению; формирование федеральной базы данных и пр.

Основными задачами региональных программ являются: проведение систематических выборочных обследований жилых, общественных и производственных зданий на уровень гамма-фона и содержание радона в воздухе помещений, по результатам которых выполняется оценка радиационной обстановки в регионе и для отдельных критических групп, а также определяются потенциально радиационно-опасные предприятия; организация и проведение мероприятий по снижению облучения населения; обследование состояния здоровья и проведение профилактических мероприятий для лиц, вошедших в группы риска; радиозэкологическое сопровождение строительства новых зданий и сооружений; паспортизация находящихся в регионе источников питьевого водоснабжения, продукции и отходов производственных предприятий, их сбросов и выбросов по содержанию естественных радионуклидов; формирование региональных баз данных по радиоактивности объектов окружающей среды, дозам облучения населения, состоянию здоровья населения, подвергающегося повышенному облучению.

Реализация мероприятий программы предполагалась за счет средств федерального бюджета, бюджетов субъектов Российской Федерации, местных бюджетов и внебюджетных источников.

В таблице 1 представлено распределение расходов программы по направлениям деятельности, обозначенным в программе.

Предполагалось, что по объемам финансирования вклады будут распределены следующим образом: федеральный бюджет – 48%, бюджеты субъектов Российской Федерации и местные бюджеты – 22%, собственные средства предприятий – 30%. Делалась оговорка, что объемы федерального финансирования будут уточняться при формировании федерального бюджета на соответствующий год, а объемы местного финансирования и финансирования из средств предприятий будут определяться на основе утвержденных региональных программ.

Совместным решением государственных заказчиков ФЦП «Радон» от 10.02.95 г. была создана Дирекция ФЦП «Радон», утверждены положение о Дирекции программы и её персональный состав. В соответствии с положением, Дирекция являлась специальным уполномоченным органом государственных заказчиков, который осуществляет координацию работ, производит конкурсный отбор исполнителей мероприятий программы, контролирует ее выполнение, включая организацию экспертизы и приемки завершённых работ, обеспечивает единство научно-методического подхода при реализации ФЦП «Радон» и разрабатываемых на её основе региональных и ведомственных программ. В обязанности Дирекции входили также экспертиза и подготовка к согласованию с госзаказчиками региональных и иных программ в рамках ФЦП «Радон», экспертиза и анализ годовых отчетов исполнителей.

Распределение финансирования по направлениям деятельности (все виды финансирования)⁸

Таблица 1

[Table 1]

Distribution of funding by activity (all types of funding)]

№ п/п [N]	Направление деятельности [Type of activity]	Затраты, отн.ед. [Expenses, rel. units]
1	Мероприятия по радиационно-гигиеническому обследованию населения, территорий и народно-хозяйственных объектов [Radiation-hygienic surveys of the public, territories and national economic facilities]	0,42
2	Мероприятия по клинико-эпидемиологическим исследованиям [Clinical-epidemiological surveys]	0,14
3	Мероприятия по методическому, метрологическому и аппаратному обеспечению работ [Methodical, metrological and equipment provision of the activities]	0,22
4	Мероприятия по радиационно-геологическому обследованию [Radiation-geological surveys]	0,09
5	Мероприятия по разработке нормативно-методической базы для проектирования и строительства радиационно безопасных зданий и сооружений [Development of the regulatory base for the designing and construction of the radiation-safe buildings and constructions]	0,04
6	Мероприятия по информационному обеспечению [Information support]	0,09

⁸ В силу быстро меняющегося курса рубля, характерного для рассматриваемого периода времени середины 1990-х гг., не следует рассматривать конкретные затраты (в абсолютном выражении) по отдельным направлениям в сопоставлении с затратами на разделы работ, связанные с ПИИИ, в последующих программах. Затраты в данной статье приведены в относительных единицах для демонстрации реалистичного соотношения затрат на основные направления, заложенного еще в ФЦП «Радон», которое примерно соблюдалось и в контрактах на работы по последующим программам.

Возглавил Дирекцию заведующий лабораторией дозиметрии природных источников СПБНИИРГ, один из основоположников постановки и решения задач, направленных на решение радоновой проблемы в нашей стране, профессор Эдуард Мечиславович Крисюк, его заместителем стал известный специалист по радиационной безопасности Илья Владимирович Павлов. В состав Дирекции вошли представители различных ведомств, специалисты в области радиационной гигиены, физики, геологи, строители, медики. Состав дирекции представлен в таблице 2⁹.

Регулярные заседания Дирекции, на которые по мере необходимости приглашались также специалисты различных научных и практических учреждений, проводились обычно один раз в месяц на базе ФГУП НТЦ радиационно-химической безопасности и гигиены ФМБА России (НТЦ РХБГ)¹⁰. Финансирование от Госзаказчика поступало в НТЦ РХБГ, откуда по контрактам, рассмотренным и одобренным Дирекцией на конкурсной основе, направлялось исполнителям работ.

Специально для реализации единого подхода и ускорения работ по составлению региональных программ

Таблица 2

Члены дирекции ФЦП «Радон» и курируемые ими направления

[Table 2]

Members of the Directorate of the Federal target program "Radon" and their assigned directions

Член дирекции [Member of the Directorate]	Курируемое направление [Assigned direction]
Крисюк Эдуард Мечиславович [Krisyuk E.M.]	Директор [director]
Павлов Илья Владимирович [Pavlov I.V.]	Заместитель директора [deputy director]
Губин Анатолий Тимофеевич [Gubin A.T.]	Представитель Минприроды РФ [Representative of Ministry of environmental resources and ecology of the Russian Federation]
Перминова Галина Сергеевна [Perminova G.S.]	Представитель Госкомсанэпиднадзора РФ [Representative of the State Committee on Sanitary and Epidemiology Surveillance]
Гулабянц Лорен Арамович [Gulabyantz L.A.]	Инженерно-строительное [engineer-construction]
Иванов Андрей Борисович [Ivanov A.B.]	Информационное [Informational]
Иванов Евгений Васильевич [Ivanov E.V.]	Медицинское [Medical]
Иванов Сергей Иванович [Ivanov S.E.]	Медицинское [medical]
Ковалев Евгений Евгеньевич [Kovalev E.E.]	Дозиметрическое [dosimetry]
Колышкин Андрей Евгеньевич [Kolishkin A.E.]	Медицинское [medical]
Кузнецов Юрий Васильевич [Kuznetsov Yu.V.]	Метрологическое [metrological]
Мальцев Андрей Валентинович [Maltsev A.V.]	Геофизическое [geophysical]
Маренный Альберт Михайлович [Marennyy A.M.]	Дозиметрическое [Dosimetry]
Рудаков Валерий Петрович [Rudakov V.P.]	Геофизическое [geophysical]
Табунщиков Юрий Андреевич [Tabunshikov Yu.A.]	Инженерно-строительное [engineer-construction]
Терентьев Михаил Владимирович [Terentyev M.V.]	дозиметрическое, аппаратно-методическое [dosimetry, equipment and methodical]

⁹ Несколько позднее вместо вышедшего М.В. Терентьева в состав дирекции был введен сотрудник СПБНИИРГ Иван Павлович Стамат.

¹⁰ В период действия ФЦП «Радон» и вплоть до 2005 г. НТЦ РХБГ носил название Научно-исследовательский испытательный центр радиационной безопасности космических объектов.

Дирекцией ФЦП «Радон» были разработаны методические рекомендации^{11,12}. Титульный лист типографского варианта рекомендаций показан на рисунке. В тексте рекомендаций представлены материалы для научно-технического обоснования региональной программы, сформулированы цели и задачи программы, приведена примерная структура региональных программ, рассмотрены пути реализации, источники и объем финансирования программы, взаимодействие с ФЦП «Радон». Дирекцией были также разработаны и методические рекомендации, направленные на обеспечение метрологического единства измерений [18].

К концу 1996 г. с помощью членов дирекции программы было подготовлено 25 региональных целевых программ «Радон» (по Алтайскому, Краснодарскому, Ставропольскому и Хабаровскому краям; Белгородской, Брянской, Иркутской, Кемеровской, Новгородской, Новосибирской, Оренбургской, Псковской, Ростовской,

Рязанской, Самарской, Свердловской, Тюменской, Читинской областям; Еврейской автономной области; Кабардино-Балкарской Республике, Республике Калмыкия, Республике Карелия, Республике Коми, Республике Татарстан, Республике Тыва). Подготовку этих программ можно считать одним из основных результатов ФЦП «Радон». РЦП предполагалось финансировать в основном из региональных и местных бюджетов при частичной (до 30%) поддержке из средств федерального бюджета. Программы были рассчитаны на 3–5 лет.

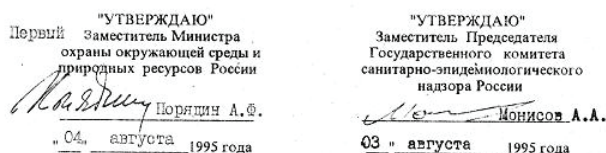
Была начата реализация ряда программ, в частности в Алтайском крае, Московской, Свердловской, Ростовской и Новгородской областях, Республике Хакасии и др. В результате в ряде регионов активизировались работы по радиационно-гигиеническому обследованию для выявления повышенного содержания радона и других природных радионуклидов в жилом фонде и на предприятиях.

Необходимо отметить, возможно, определяющую роль сотрудников Минприроды РФ периода середины 1990-х гг., в частности представителя министерства в Дирекции А.Т. Губина, в том, что в самое неблагоприятное для таких проектов время им удавалось поддерживать работы по ФЦП в течение почти 2 лет. К сожалению, большинство намеченных мероприятий и в федеральной целевой программе «Радон» были выполнены лишь частично, а накопленный опыт в области координации деятельности и межведомственного взаимодействия не получил должного развития, так как финансирование по понятным для того времени причинам сокращалось, и в 1996 г. из-за отсутствия финансирования программа была закрыта.

Тем не менее, оценивая итоги работ по ФЦП «Радон» в целом, следует подчеркнуть, что, несмотря на фактический срыв выполнения постановления Правительства Российской Федерации № 809 от 06.07.94 г. в части финансирования программы, удалось выполнить довольно большой объем работ неотложного характера. Это было достигнуто благодаря сохраняющемуся энтузиазму ряда коллективов исследователей и разработчиков аппаратуры, поддерживаемому надеждами на последующее полное финансирование программы.

Так, в 1990-е гг. были разработаны основные подходы к обеспечению радиационной безопасности населения от воздействия ПИИИ и методические документы по обследованию земельных участков под строительство и обследование вводимых в эксплуатацию зданий (см. выше).

Благодаря созданным условиям и в немалой степени энтузиазму разработчиков, преимущественно из малых предприятий, были разработаны и включены в Государственный реестр средств измерений отечественные приборы для радоновых измерений в коммуналь-



МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

по составлению и выполнению региональных целевых программ снижения уровня облучения населения и производственного персонала от природных источников ионизирующего излучения (РЦП «Радон»)

Москва
1995

Рис. Титульный лист Методических рекомендаций по составлению и выполнению РЦП «Радон»

[Fig. Title page of Guidelines for the preparation and implementation of the RTP «Radon»]

¹¹ Методические рекомендации по составлению и выполнению региональных целевых программ снижения уровня облучения населения и производственного персонала от природных источников ионизирующего излучения (РЦП «Радон»). М.: Изд-во Госсанэпиднадзора РФ, 1995. [Methodical recommendations on the development and execution of the regional targeted programs on the reduction of the levels of the exposure of the public and staff from the natural sources of ionizing exposure (RCP «Radon»). Published by State Committee on Sanitary and Epidemiology Surveillance, Moscow, 1995 (In Russian)]

¹² Методические рекомендации по аппаратурному оснащению региональных целевых программ «Радон». М.: Изд-во Госсанэпиднадзора РФ, 1996. [Methodical recommendations on the infrastructure of the regional targeted programs «Radon» Published by State Committee on Sanitary and Epidemiology Surveillance, Moscow, 1996 (In Russian)]

ных и производственных условиях практически по всему спектру измерений, связанных с ПИИИ. В частности, был начат выпуск первых отечественных комплексов аппаратуры (аппаратура для спектрометрических и инспекционных радоновых измерений – «Прогресс», «Поиск» и т.д., комплексы для квазиинтегральных и интегральных измерений содержания радона в воздухе – «Камера» и «ТРЕК-РЭИ»). Характеристики аппаратуры не уступали характеристикам зарубежных аналогов, а в ряде случаев и превосходили их. Важным социально-экономическим аспектом реализации данного блока мероприятий явилось преодоление нарастающей тенденции приобретения дорогостоящих зарубежных приборов, что приводило к нерациональному расходованию финансовых ресурсов.

Одним из важных документов является впервые разработанный проект «Концепция снижения уровня облучения населения и производственного персонала от природных источников ионизирующего излучения». Целесообразность разработки Концепции диктовалась тем, что значительный контингент населения Российской Федерации уже сейчас проживает в условиях неприемлемо высоких уровней облучения от природных источников ионизирующего излучения, которые в некоторых случаях уместно отнести к категории аварийного облучения.

Цель Концепции – обеспечение эффективной защиты населения и окружающей среды на территории Российской Федерации от вредного воздействия природных источников ионизирующего излучения, а задача – развитие и конкретизация положений одобренной Российской научной комиссией по радиационной защите и рекомендованной Правительством Российской Федерации к использованию «Концепции радиационной, медицинской, социальной защиты и реабилитации населения Российской Федерации, подвергшегося аварийному облучению» применительно к проблеме ограничения воздействия ПИИИ на человека и окружающую среду и уменьшения отрицательных последствий такого воздействия.

В основу разработки Концепции были положены «... материалы научных наблюдений и исследований в области биологических эффектов ионизирующего излучения, устоявшиеся представления о механизмах влияния различных видов ионизирующего излучения на здоровье человека, принципы радиационной защиты и рекомендации по обеспечению радиационной безопасности населения, сформулированные в публикациях компетентных международных организаций (МКРЗ, НКДАР ООН, ВОЗ, МАГАТЭ и др.)».

В тексте Концепции были сформулированы научно обоснованные принципы и критерии обеспечения радиационной безопасности, необходимые для формирования всеобъемлющей государственной системы обеспечения радиационной безопасности населения и производственного персонала на территории Российской Федерации

применительно к природным источникам ионизирующего излучения.

Обоснованно утверждается, что цель Концепции достигается путем создания и обеспечения функционирования на территории Российской Федерации системы обеспечения радиационной безопасности, позволяющей эффективно контролировать уровни облучения от природных источников ионизирующего излучения, устранять существующие ситуации повышенного облучения людей и очаги загрязнения окружающей среды природными радионуклидами, предотвращать дальнейшее проникновение природных радионуклидов в объекты окружающей среды.

Представляется, что и сегодня можно легко согласиться практически со всем сказанным выше.

Благодаря разработанным методическим документам (ВМУ Р1-97) [VMU P1-97. Determination of flux density of radon at the areas of the building, 1997 (In Russian)], (МГЧН 2.02-97) [MGSN 2.02-97. Permissible levels of ionizing radiation and radon in building sites 1997 (In Russian)], (МУК 2.6.1.-96) [MUK 2.6.1.-96. Organization and providence of radiation monitoring in residential and public buildings. 1997 (In Russian)], (СП-11-102-97), [SP-11-102-97 "Engineering and environmental surveys for construction 1997 (In Russian)] и созданному аппаратному парку была открыта возможность предусмотренных программой широкомасштабных работ во многих регионах по оценке степени потенциальной радоноопасности участков под новое строительство, выборочного обследования населенных пунктов на концентрацию радона в воздухе помещений, контроля содержания радона в воде различных источников и т.д.

В соответствии с решением Правительственной комиссии по окружающей среде и природопользованию от 20.02.96 г. подготовлена «Программа комплексных исследований на радиационно-экологическом полигоне в г. Лермонтове». Были проведены первые серии комплексных исследований зависимости объемной активности радона в помещениях от потока радона из земли на территориях застройки в Московской области и в г. Лермонтове.

На основе геофизических данных была создана первая карта потенциальной радоноопасности территории России [19].

Усилиями в том числе и некоторых членов Дирекции программы «Радон» в Федеральный закон «О радиационной безопасности населения»¹³, принятый в 1996 г., были включены требования по ограничению облучения населения за счет природных источников излучения. В обеспечение этого закона в 1997 г. вышло Постановление Правительства РФ о разработке радиационно-гигиенических паспортов территорий и о создании единой государственной системы контроля и учета индивидуальных доз облучения граждан (ЕСКИД)¹⁴. Несколько позже были приняты законы «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения»¹⁵ и «Градостроительный

¹³ Федеральный закон от 09.01.1996 № 3-ФЗ (ред. от 19.07.2011 г.) «О радиационной безопасности населения» [Federal state Law №3-FZ from 09.01.1996 «On the radiation safety of the public». Ed. On 19.07.2011 (In Russian)].

¹⁴ Постановление Правительства РФ от 28 января 1997 г. № 93 «О порядке разработки радиационно-гигиенических паспортов организаций и территорий» (с изменениями на 10 июля 2014 г.). [Resolution of the Government of the Russian Federation of January 28, 1997 № 93 «On the procedure for the development of radiation and hygienic passports of organizations and territories» (as amended on July 10, 2014) (in Russian)]

кодекс Российской Федерации» (Федеральный закон Российской Федерации № 190-ФЗ от 29.12.2004) [Building code of the Russian Federation: Federal law of the Russian Federation No. 190-FZ of 29.12.2004 In Russ.], в соответствии с которыми должны быть учтены требования по ограничению облучения населения ПИИИ при выборе земельных участков, проектировании, строительстве и вводе в эксплуатацию зданий, радиационному контролю стройматериалов, а также к санитарно-гигиеническим условиям проживания в жилых помещениях.

Тем не менее, в связи с тем, что уже в 1996 г. стало очевидным, что работы, предусмотренные ФЦП «Радон», в значительной степени не будут выполнены по причине недостаточного финансирования, Правительственной комиссией по окружающей среде и природопользованию было принято решение (пункт II решения № 1 от 28 февраля 1996 г.) о разработке проекта программы «Снижение уровня облучения населения России и производственного персонала от природных радиоактивных источников» на 1997–2000 гг. При этом комиссия исходила из того, что при распределении средств федерального бюджета, направляемых на реализацию программ радиационно-экологического и радиационно-гигиенического профилей, пришло время устранить явную диспропорцию между объемами финансирования, направляемого на работы, связанные с природными и техногенными источниками ионизирующих излучений, и привести их в соответствие с реальными вкладами в формирование радиационной опасности для населения России.

Согласование проекта программы, разработанного дирекцией ФЦП «Радон» в соответствии с решением комиссии, в министерствах и ведомствах проходило крайне медленно. Стало очевидным, что в 1997 г. программа не будет финансироваться. В пользу этого говорил тот факт, что на последней стадии согласования Минэкономики предложило переработать проект на период 1998–2002 гг. Однако разработанная программа на этот период также не была утверждена по очевидным причинам (достаточно вспомнить о дефолте 1998 г.).

В последующий период работа по направлению природных источников ионизирующих излучений планировалась в рамках общих программ, направленных на обеспечение ядерной и радиационной безопасности России от всех источников ионизирующей радиации:

- ФЦП «Ядерная и радиационная безопасность России» на 2000–2006 годы»¹⁶,
- ФЦП «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года»¹⁷,
- ФЦП «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016–2020 годы и на период до 2030 года»¹⁸.

В заключение этого раздела отметим, что ФЦП «Радон» формировалась как комплексная программа,

рассчитанная в перспективе на несколько десятилетий. Многие положения этой программы и сформулированные в ней основные направления остаются, несмотря на большой объем проведенных в последующие годы исследований и обследований, актуальными и в настоящее время.

ФЦП «Радон» сыграла, без сомнения, огромную роль в постановке и решении задач, направленных на обеспечение радиационной безопасности населения от воздействия ПИИИ. В рамках последующих ФЦП проводились работы по направлениям, наметившимся, по существу, в программе «Радон»: развитию аппаратно-методического и метрологического обеспечения радиационного контроля, разработке инженерно-строительных мероприятий по снижению содержания изотопов радона в воздухе зданий, адресные программы радиологических обследований на территориях с повышенным содержанием радона, эпидемиологические исследования, исследования по выявлению и разработке рекомендаций по снижению неблагоприятных медицинских последствий облучения населения и др.

Очень важным наследием ФЦП «Радон» является то, что она позволила объединить вокруг радоновой проблемы усилия специалистов многих научных и научно-практических организаций, которое сохранилось и в работе в рамках последующих программ.

2. Развитие международных представлений о регулировании радоновой проблемы и подходах к ее решению

Исторически основы регулирования защиты населения от радона формировались в области обеспечения безопасности персонала урановых рудников и основывались на установлении ограничений ингаляционного поступления радиоактивного газа в организм шахтеров [20]. По мере накопления сведений о существенном вкладе радона в облучение не только шахтеров, но и населения, была предложена концепция, в основу которой положен единый подход к регулированию защиты населения при облучении радоном, впервые сформулированный в рекомендациях Публикации 65 МКРЗ [21]. Суть нового подхода состояла в необходимости защиты наиболее облучаемых групп населения путем установления уровней действия по ОА радона, превышение которых диктовало необходимость применения мер по снижению его содержания. По мере развития представлений об эффектах облучения радоном в международном сообществе формировалось представление о масштабах проблемы и поиске оптимальных путей ее решения, что инициировало развитие исследований в этой области. Их основу составляли мероприятия по измерению радона в помещениях, выяв-

¹⁵ Постановление Правительства Российской Федерации от 16.06.1997 г. № 718 «О порядке создания единой государственной системы контроля и учета индивидуальных доз облучения граждан». [Resolution of the Government of the Russian Federation No. 718 of 16.06.1997 "On the procedure for establishing a unified state system for monitoring and recording individual doses to citizens". Moscow, JSC "Kodex" (in Russian)]

¹⁶ См. сноску 2 [See № 2].

¹⁷ См. сноску 3 [See № 3].

¹⁸ См. сноску 4 [See № 4].

лению радоноопасных территорий и их картированию. На основе полученных результатов во многих странах были установлены нормативы по содержанию радиоактивного газа в воздухе помещений для эксплуатируемых помещений [22].

В 2009 г. НКДАР ООН на основе тщательной научной оценки эпидемиологических данных сделал заявление на сессии Генеральной Ассамблеи ООН о том, что есть прямое доказательство, подтверждающее обнаруживаемый риск рака легкого для населения от радона в жилищах [23]. Одним из ключевых этапов, определившим дальнейшую стратегию решения радоновой проблемы, явился анализ результатов объединенных эпидемиологических исследований по влиянию радона в жилых помещениях на развитие рака легкого, выполненных в рамках Международного радонового проекта, на основе которого ВОЗ констатировала, что не существует известного порога объемной активности, ниже которого радоновое облучение не представляет никакой опасности [8]. Наличие канцерогенного эффекта отмечено при воздействии радона при уровнях объемной активности в жилищах, не превышающих 50–100 Бк/м³. Большинство радон-индуцированных раков легкого обусловлено скорее низкими и средними уровнями ОА радона, чем высокими, потому что воздействию высоких концентраций радона, в общем, подвергается меньшее количество людей.

Это кардинально изменило существовавшие представления об уровне радоновой опасности и в конечном итоге привело к пониманию необходимости формирования комплексного подхода к решению радоновой проблемы.

В публикации 103 МКРЗ, определившей современную идеологию радиационной защиты, облучение радонем рассматривается в контексте ситуации существующего облучения [24]. Внедрение новой концепции радиационной защиты в ситуациях существующего облучения послужило основой современной стратегии реализации национальных программ по защите населения от радона. По сравнению с ранее существовавшими взглядами, снижение концентраций радона в помещениях только в случае превышения уровней действия, рекомендованных в Публикации 65 МКРЗ, создает неверное представление о безопасности его воздействия ниже этого уровня. Концепция референтного уровня подразумевает установление не жесткого норматива, а критерия, выбор которого определяется реальной ситуацией в стране или регионе и возможностью влияния на ситуацию облучения посредством осуществления мероприятий по нормализации радиационной обстановки ниже этого уровня [11]. Таким образом, современное видение решения радоновой проблемы заключается в рассмотрении двух взаимосвязанных задач. Первая направлена на уменьшение доли лиц, подвергающихся неприемлемо высоким индивидуальным рискам, связанным с радонем, вторая – на уменьшение среднего значения индивидуального радонового риска для всего населения страны. Плановое решение обеих задач, рассчитанное на долгосрочную перспективу ее реализации, позволит достичь конечной цели – снижения заболеваемости и смертности населения от радон-индуцированных раков легкого.

Новые рекомендации ВОЗ, МКРЗ и МАГАТЭ [8, 9, 10] инициировали во многих странах разработку новых или переработку существующих радоновых программ. Для государств-членов Евросоюза их разработка является обязательной в соответствии с утвержденной директивой Евроатома 2013/59 [11].

Анализируя накопленный к настоящему времени опыт, следует отметить, что в мировой практике сложилось понимание того, что национальная радоновая программа должна осуществляться в формате многоуровневой кооперации между организациями, ответственными за радиационную защиту и политику в области общественного здравоохранения, государственными и частными предприятиями, специализирующимися на радиационных измерениях и инженерно-строительной деятельности, научными учреждениями, заинтересованными неформальными и неправительственными организациями, формирующими информационную политику в этой области [25].

Опыт реализации стратегии решения радоновой проблемы, направленной на снижение индивидуальных рисков от радона в существующих зданиях, показал, что основными сложностями во всех странах являются крайне низкая осведомленность населения о радоне и его воздействии на организм человека, а также отсутствие опыта в области применения радонозащитных мероприятий. Как показывает практика, низкая информированность препятствует широкому вовлечению населения, ограничивая рамки радонового мониторинга преимущественно детскими образовательными учреждениями и рабочими местами, где соблюдение стандартов качества воздуха в помещении возведено в ранг норматива и его соблюдение является обязательным для работодателя.

Многие страны столкнулись с проблемой неразвитого научно-производственного кластера в области подготовки специалистов инженерно-строительного профиля (архитекторы, проектировщики, строители, инженеры систем вентиляции) по оказанию специализированных услуг в этой области. Вместе с тем, разработка и внедрение в практику технологий защиты зданий от радона на стадии строительства является важной стратегической задачей, эффект от реализации которой позволит снизить радоновую нагрузку на население в перспективе, учитывая современные темпы обновления жилого фонда. В связи с этим во многих странах активно развивается направление по организации учебно-методической деятельности в этой области и формированию нового сектора оказания услуг населению. Этому способствует принятие в странах на законодательном уровне обязательных требований к качеству воздуха в эксплуатируемых и новых помещениях при совершении сделок с недвижимостью.

Таким образом, анализ основных мировых тенденций в решении радоновой проблемы позволяет заключить, что в принципе подходит к завершению этап, связанный с интенсивной разработкой аппаратно-методической и регуляторной базы, и начинается формирование инфраструктуры оказания услуг в разных сферах деятельности, направленной на активное вовлечение населения в процесс обеспечения безопасности от данного компонента природного облучения.

Заключение

Для реализации Основ государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации, утвержденных президентом Российской Федерации в 2018 г.¹⁹, необходимо формирование системного подхода к решению обозначенных проблем.

Эта деятельность должна осуществляться в рамках национальной программы, предполагающей тесное взаимодействие различных министерств и ведомств в решении единой задачи – снижении заболеваемости и смертности населения от радон-индуцированных раков легкого.

В России накоплен опыт в организации и реализации данного направления, основные элементы которого были разработаны в рамках ФЦП «Радон». По своему содержанию, комплексности, тематической полноте и широте охвата ФЦП «Радон» во многом опередила положения предложенных позднее рекомендаций международных организаций по содержанию национальных планов действий по радону, разрабатываемых в настоящее время различными странами.

Учитывая территориальные особенности страны, а также опыт реализации предыдущих программ, представляется целесообразным сохранить прежнюю структуру, предполагающую решение основных задач на федеральном и региональном уровнях.

Современный международный опыт реализации радоновых программ указывает на необходимость развития инфраструктуры взаимодействия между местными органами власти, населением, строительными организациями, образовательными учреждениями и другими заинтересованными сторонами. Целью скоординированной политики в этой области является формирование доступного для населения информационно-правового поля и создание на его основе новой сферы оказания услуг, способствующей активному вовлечению населения в процесс улучшения среды обитания.

Литература

1. UNSCEAR, 1993. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and effects of ionizing radiation. 1993 Report to the general Assembly with scientific annexes, United Nations, New York, 1993.
2. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Ionizing Radiation, Part 2: Some Internally Deposited Radionuclides. IARC, 2001.
3. Кушнев, В.С. О радиотоксическом действии радона. В кн. Материалы по токсикологии радиоактивных веществ / В.С. Кушнев. – М., 1957. – С. 130-167.
4. Крисюк, Э.М. Радиационный фон помещений / Э.М. Крисюк. – М., 1989. – 120 с.
5. Гнеушева, Г.И. Количественная оценка профессионального риска смерти от рака легкого при подземной добыче урановых руд / Г.И. Гнеушева, И.Л. Шалаев, М.В. Глушинский // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2004. – № 2. – С. 13-16.
6. Коренков, И.П. Радон в коммунальных и промышленных сферах, проблемы нормирования, биологическое действие, методики измерений / И.П. Коренков, О.Г. Польских, И.А. Соболев. – Москва, 1993. – 250 с.
7. Павлов, И.В. Способы обеспечения радиационной безопасности при разведке и добыче урановых руд / И.В. Павлов, С.С. Покровский, Е.Н. Камнев. – М.: Энергоатомиздат, 1994. – 256 с.
8. Handbook on Indoor Radon: A Public Health Perspective. World Health Organization (WHO). WHO Press, Geneva, 2009.
9. International Atomic Energy Agency. Protection of the Public against Exposure Indoors due to Radon and Other Natural Sources of Radiation, SSG 32, IAEA: Vienna, 2014.
10. Radiological Protection against Radon Exposure. ICRP Publication 126, Ann. ICRP 43 (3), 2014.
11. Council Directive 2013/59/Euratom, OJ L13, 17.01.2014, pp. 1–73.
12. Лисаченко, Э.П. История становления лаборатории дозиметрии природных источников в Институте радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева: 1970–1986 гг. / Э.П. Лисаченко, И.П. Стамат, Н.А. Королева // Радиационная гигиена. – 2016. – Т. 9, № 1. – С. 45–57.
13. Крисюк, Э.М. Нормирование радиоактивности строительных материалов / Э.М. Крисюк // Гигиена и санитария. – 1980. – № 12. – С. 32-34.
14. Королева, Н.А. Выделение радона из строительных материалов в жилищах / Н.А. Королева, Н.И. Шалак, Э.М. Крисюк [и др.] // Гигиена и санитария. – 1985. – Т. 1, № 7. – С. 64-66.
15. Ограничение облучения населения от природных источников ионизирующего излучения. Временные критерии для принятия решения и организации контроля № 43–10/796 от 5.12.1990 г. М.: 1990. – 18 с.
16. Крисюк, Э.М. Проблема радона – ведущая проблема обеспечения радиационной безопасности населения / Э.М. Крисюк. – АНРИ. – 1996/97. – № 3(9). – С. 13-16.
17. Крисюк, Э.М. Методические вопросы организации и проведения радиационного контроля зданий и сооружений / Э.М. Крисюк, А.М. Маренный, И.В. Павлов, И.П. Стамат, М.В. Терентьев // АНРИ. – 1996/97. – №3. – С. 31-36.
18. Крисюк, Э.М. Новая стратегия обеспечения радиационной безопасности населения / Э.М. Крисюк. – АНРИ. – 1998. – № 1(12). – С. 4-11.
19. Максимовский, В.А. Районирование территории России по степени радоноопасности / В.А. Максимовский, М.Г. Харламов, А.В. Мальцев [и др.]. – АНРИ. – 1996/97. – № 3(9). – С. 66-73.
20. Limits for Inhalation of Radon Daughters by Workers. ICRP Publication 32. Ann. ICRP 6 (1), 1981.
21. Protection Against Radon-222 at Home and at Work. ICRP Publication 65. Ann. ICRP 23 (2), 1993.
22. Survey on radon guidelines programmes and activities. Final report. International radon project. WHO: Geneva, 2007.
23. Effect of exposure to radon gas // UNSCEAR briefing note, 21.07. 2009/- New York: United States, 2009.
24. Публикация 103 Международной Комиссии по радиационной защите (МКРЗ) / под общей ред. М.Ф. Киселева, Н.К. Шандалы. – М.: ООО ПКФ «Алана», 2009. – 312 с.
25. European Commission. RADPAR Project. (web.jrc.ec.europa.eu/radpar/).

Поступила: 21.05.2019 г.

¹⁹ См. сноску 5. [See № 5].

Маренный Альберт Михайлович – доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией природных источников ионизирующих излучений Научно-технического центра радиационно-химической безопасности и гигиены Федерального медико-биологического агентства России. **Адрес для переписки:** 123182, Москва, ул. Щукинская, д. 40; E-mail: amarennyy@yandex.ru

Киселёв Сергей Михайлович – кандидат биологических наук, заведующий лабораторией регулирующего надзора за объектами ядерного наследия отдела радиационной безопасности населения, Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна Федерального медико-биологического агентства России, Москва, Россия

Для цитирования: Маренный А.М., Киселёв С.М. Национальные радоновые программы: Опыт реализации и задачи на перспективу // Радиационная гигиена. – 2019. – Т. 12, № 2 (Спецвыпуск). – С. 97-108. DOI: 10.21514/1998-426X-2019-10-2s-97-108.

The national radon program: Implementation experience and challenges for the future

Albert M. Marennyy ¹, Sergey M. Kiselev ²

¹Research and Technical Center of Radiation-Chemical Safety and Hygiene, Federal Medical-Biological Agency, Moscow, Russia

² State Research Center Burnasyan Federal Medical Biophysical Center, Federal Medical-Biological Agency, Moscow, Russia

The authors share their experience and represent the historical overview of activities on public radiation protection against radon and other natural sources of radiation in Russia. Special attention is paid to the country's first national radon program - Federal Target Program "Radon" (FTP "Radon", 1994-1996). Organization, structure, main goals and objectives of the FTP «Radon» are discussed. In particular, it was noted that in a short period of time the country's regulatory and methodological framework was developed. The scientific basis for identification of the radon prone areas and regulatory support for building construction at the sites was developed. The national SSND equipment was produced and QA/QC system implemented. The national and regional radon surveys have been performed. Unfortunately, the economic situation of those years did not allow to fully implement the planned set of measures at the federal and regional levels. Nevertheless the accumulated experience served as a scientific and technical basis for further improvements in this field and to be consistent with the modern radon regulatory issues and approaches developed by the international organizations (ICRP, IAEA, WHO).

Key words: natural sources of ionizing radiation, radon, National program, radon problem, public exposure, survey, dose, residential and public buildings.

References

1. UNSCEAR, 1993. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and effects of ionizing radiation. 1993 Report to the general Assembly with scientific annexes, United Nations, New York, 1993.
2. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Ionizing Radiation, Part 2: Some Internally Deposited Radionuclides. IARC. 2001.
3. Kushneva V.S. On the radiotoxic action of radon. In the book: Materials on toxicology of radioactive substances. Moscow, 1957, pp. 130-167. (in Russian)
4. Krisyuk E.M. Radiation background in promises. Moscow, Energoatomizdat, 1989, 120 p. (in Russian)
5. Gneusheva G. I., Shalaev I. L., Glushinsky M. V. Quantitative assessment of occupational risk of death from lung cancer in underground mining of uranium ores. Meditsinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost = Medical radiology and radiation safety, 2004, № 2, pp. 13-16. (in Russian)
6. Korenkov I.P., Polskikh O.G., Sobolev I.A. Radon in municipal and industrial spheres, problems of rationing, biological action, methods of measurements. Moscow, 1993, 250 p. (in Russian)

Albert M. Marennyy

Research and Technical Center of Radiation-Chemical Safety and Hygiene

Address for correspondence: Shchukinskaya Str., 40, Moscow, 123182, Russia; E-mail: amarennyy@yandex.ru

7. Pavlov I.V., Pokrovsky S.S., Kamnev E.N. Methods of ensuring radiation safety in the exploration and production of uranium ores. Moscow, Energoatomizdat, 1994, 256 p. (in Russian)
8. Handbook on Indoor Radon: A Public Health Perspective. World Health Organization (WHO). WHO Press, Geneva, 2009.
9. International Atomic Energy Agency. Protection of the Public against Exposure indoor due to Radon and Other Natural Sources of Radiation, SSG 32, IAEA: Vienna, 2014.
10. J. F. Lecomte, S. Solomon, J. Takala, T. Jung, P. Strand, C. Murith, S. M. Kiselev, W. Zhuo, F. Shannoun, and A. Janssens. Radiological protection against radon exposure. *Annals of the ICRP (International Commission on Radiological Protection)*, 43(3):4–5, 2014.
11. Council Directive 2013/59/Euratom, OJ L13, 17.01.2014, pp. 1–73.
12. Lisachenko E.P., Stamat I.P., Koroleva N.A. History of development of the laboratory of natural sources dosimetry at the Institute of radiation hygiene named after Professor P.V. Ramzaev: 1970–1986 // *Radiatsionnaya gigiena = Radiation hygiene*, 2016, Vol. 9, № 1, pp. 45–57. (in Russian)
13. Krisyuk E. M. Setting radioactivity standards in the building materials. *Gigiena i sanitariya = Hygiene and sanitary*, 1980, N 12, pp. 32–34. (in Russian)
14. Koroleva N. A., Shalak N. I., Krisyuk E. M. and others. The release of radon from building materials in dwellings. *Gigiena i sanitariya = Hygiene and sanitary*, 1985, Vol. 1, N7, pp. 64–66. (in Russian)
15. Limitation of public exposure to natural sources of ionizing radiation. Temporary criteria for decision-making and organization of control № 43-10/796 from 5.12.1990, Moscow, 1990. (in Russian)
16. Krisyuk E.M. The radon problem is the leading problem of ensuring radiation safety of the population. *ANRI = ANRI*, 1996/97, № 3(9), pp. 13–16. (in Russian)
17. Krisyuk E.M., Marennyy A.M., Pavlov I.V., Stamat I.P., Terentiev M.V. The methodical aspects of organization and conduct of radiation monitoring of buildings and structures. *ANRI = ANRI*, no. 3, 1996/97, pp. 31–36. (in Russian)
18. Krisyuk E.M. A new strategy to ensure radiation safety of the population. *ANRI = ANRI*, 1998, № 1(12), pp. 4–11. (in Russian)
19. Maksimovsky V.A., Kharlamov M.G., Maltsev V.A. [et al.] Zoning of the territory of Russia according to the level of radon hazard. *ANRI = ANRI*, 1996/97, № 3(9), pp. 66–73. (in Russian)
20. Limits for Inhalation of Radon Daughters by Workers. *ICRP Publication 32. Ann. ICRP 6 (1)*, 1981.
21. Protection Against Radon–222 at Home and at Work. *ICRP Publication 65. Ann. ICRP 23 (2)*, 1993.
22. Survey on radon guidelines programmes and activities. Final report. International radon project. WHO: Geneva, 2007.
23. Effect of exposure to radon gas // *UNSCEAR briefing note*, 21.07. 2009/- New York: United States, 2009.
24. *ICRP Publication 103*. Translated from engl., Edited by M.F. Kiselev and N.K. Scandala. Moscow, 2009, 312 p. (in Russian)
25. European Commission. RADPAR Project. (web.jrc.ec.europa.eu/radpar/).

Received: May 21, 2019

For correspondence: Albert M. Marennyy – PhD, Head of Laboratory of Natural Sources of Ionizing Radiation, Federal State Unitary Enterprise Research and Technical Center of Radiation-Chemical and Hygiene of the Federal Medical-Biological Agency of Russia (Shchukinskaya Str., 40, Moscow, 123182, Russia; E-mail: amarennyy@yandex.ru)

Sergey M. Kiselev – PhD, Head of RSLs Laboratory Public Radiation Protection Department, State Research Center Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of the Federal Medical-Biological Agency of Russia, Moscow, Russia

For citation: Marennyy A.M., Kiselev S.M. The national radon program: Implementation experience and challenges for the future. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*, 2019, Vol. 12, No. 2 (special issue), pp. 97–108. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426x-2019-12-2s-97-108.

Актуальные задачи радиационной гигиены

А.В. Симаков¹, В.В. Романов², Ю.В. Абрамов¹, Н.Л. Проскуракова¹

¹Государственный научный центр — Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна, Федеральное медико-биологическое агентство России, Москва, Россия;

²Федеральное медико-биологическое агентство, Москва, Россия

Основы государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации на период до 2025 г. и дальнейшую перспективу определили, что одной из целей государственной политики в области обеспечения радиационной безопасности является поддержание на возможно низком уровне риска радиационного воздействия на персонал, осуществляющий эксплуатацию объектов использования атомной энергии. Для достижения этой цели необходимо обеспечить концентрацию усилий и ресурсов для решения ряда задач, включая: защиту персонала организаций, осуществляющих эксплуатацию объектов использования атомной энергии; совершенствование государственного управления и государственного регулирования безопасности в области использования атомной энергии; обеспечение радиационной безопасности при выводе из эксплуатации объектов ядерного наследия, при обращении с отработавшим ядерным топливом, при реабилитации радиоактивно загрязненных участков территории Российской Федерации. В настоящее время перед федеральными органами, осуществляющими функции по контролю и надзору в сфере санитарно-эпидемиологического благополучия работников отдельных отраслей промышленности с особо опасными условиями труда, и научными учреждениями, осуществляющими их научно-методическое сопровождение, стоят задачи решения следующих актуальных проблем в области обеспечения радиационной безопасности: совершенствование нормативно-методического обеспечения государственного регулирования радиационной безопасности; совершенствование надзорных функций в целях обеспечения безопасности персонала и населения при выводе из эксплуатации радиационных объектов и реабилитации радиоактивно загрязненных участков территории; совершенствование надзорных функций в целях обеспечения радиационной безопасности при обращении с отработавшим ядерным топливом.

Ключевые слова: радиационная безопасность, отработавшее ядерное топливо, вывод из эксплуатации радиационных объектов, реабилитация радиоактивно загрязненных участков территории.

Введение

Основы государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации на период до 2025 г. и дальнейшую перспективу [1] определили, что одной из целей государственной политики Российской Федерации в области обеспечения радиационной безопасности является поддержание в соответствии с принципами нормирования, обоснования и оптимизации на возможно низком уровне риска радиационного воздействия на персонал, осуществляющий эксплуатацию объектов использования атомной энергии в мирных и оборонных целях. Для достижения этой цели необходимо обеспечить концентрацию усилий и ресурсов на решении ряда задач, включая:

- защиту персонала организаций, осуществляющих эксплуатацию объектов использования атомной энергии;
- совершенствование государственного управления и государственного регулирования безопасности в области использования атомной энергии;

– обеспечение радиационной безопасности при выводе из эксплуатации (ВЭ) объектов ядерного наследия, при обращении с отработавшим ядерным топливом (ОЯТ), при реабилитации радиоактивно загрязненных участков территории Российской Федерации;

– обеспечение безопасности при обращении с радиоактивными веществами и изделиями из них, ядерными материалами и радиоактивными отходами.

В решении вышеизложенных задач самое активное участие принимают специалисты федеральных органов исполнительной власти, уполномоченных осуществлять федеральный государственный санитарно-эпидемиологический надзор, и соответствующих научных организаций.

В настоящее время перед федеральными органами, осуществляющими функции по контролю и надзору в сфере санитарно-эпидемиологического благополучия работников отдельных отраслей промышленности с особо опасными условиями труда, и научными учреж-

Абрамов Юрий Викторович

Государственный научный центр – Федеральный медицинский биофизический Центр им. А.И. Бурназяна

Адрес для переписки: 123182, г. Москва, ул. Живописная, д. 46; E-mail: abramov-1948@yandex.ru

дениями, осуществляющими их научно-методическое сопровождение, стоят задачи решения следующих актуальных проблем в области обеспечения радиационной безопасности:

- совершенствование нормативно-методического обеспечения государственного регулирования радиационной безопасности;
- совершенствование надзорных функций в целях обеспечения радиационной безопасности персонала и населения при выводе из эксплуатации радиационных объектов (РО) и реабилитации радиоактивно загрязненных участков территории;
- совершенствование надзорных функций в целях обеспечения радиационной безопасности при обращении с ОЯТ.

Совершенствование нормативно-методического обеспечения государственного регулирования радиационной безопасности

Созданная в России с учетом мирового опыта система государственного регулирования ядерной и радиационной безопасности доказала свою эффективность и позволила минимизировать радиационные риски для персонала и населения, связанные с использованием атомной энергии, как в условиях нормальной эксплуатации радиационных объектов, так и в случае возникновения радиационных аварий.

Для дальнейшего совершенствования нормативно-методического обеспечения государственного регулирования радиационной безопасности целесообразно выделить следующие основные направления:

- разработка и внедрение регулирующих нормативно-методических документов, направленных на решение актуальных проблем обеспечения радиационной безопасности;
- исключение избыточности и дублирования требований в деятельности органов государственного регулирования радиационной безопасности;
- повсеместное внедрение принципа оптимизации радиационной защиты и повышения культуры безопасности на радиационно опасных производствах;
- гармонизация нормативно-правовой базы Российской Федерации в области обеспечения радиационной безопасности с современными международными требованиями.

Первоочередным шагом в реализации данной задачи является подготовка новой редакции отечественных Норм радиационной безопасности (НРБ).

В 2017 г. была создана рабочая группа (приказ № 651 руководителя Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека А.Ю. Поповой) по подготовке Норм радиационной безопасности. В настоящее время работа по подготовке новой редакции НРБ вступила в завершающую стадию. Как показывает опыт, сразу же после внедрения новой редакции НРБ возникнет необходимость разработки и новой редакции Основных санитарных правил обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ).

При подготовке новых редакций НРБ и ОСПОРБ самое пристальное внимание, на наш взгляд, следует уделить приведению требований НРБ и ОСПОРБ в соответствие с основными положениями федеральных законов

и постановлений Правительства РФ, введенных за последние годы, гармонизации отечественных нормативных документов с Международными основными нормами безопасности [1] и разработке глоссария в области обеспечения радиационной безопасности. При этом необходимо в полной мере сохранить основополагающие принципы обеспечения радиационной безопасности населения и персонала, заложенные выдающимися отечественными гигиенистами А.И. Бурназяном, Л.А. Ильиным, П.В. Рамзаевым и многими другими, и исключить слепое копирование международных документов.

Особо следует остановиться на проблеме терминологии. В Российской Федерации сложилась парадоксальная ситуация, когда из 61 термина, приведенного в справочном Приложении к НРБ 99/2009, легитимными являются 9 терминов, присутствующих в Федеральном законе «О радиационной безопасности населения». Также легитимными являются около двух десятков терминов, изложенных в других законах Российской Федерации, Постановлениях Правительства и других правовых актах. В нормативных документах системы санитарно-эпидемиологического нормирования (санитарные правила и гигиенические нормативы, включая действующие НРБ и ОСПОРБ) термины и определения вынесены за рамки действия утверждающей подписи, имеют статус рекомендательных и не являются обязательными. В нормативных документах органов, осуществляющих государственное регулирование безопасности при использовании атомной энергии, встречаются одноименные термины, трактуемые по-разному. Для единого толкования специальных терминов в области обеспечения радиационной безопасности необходимо создание глоссария, согласованного всеми органами регулирования безопасности при использовании атомной энергии.

Обеспечение безопасности персонала и населения при выводе из эксплуатации радиационных объектов и реабилитации радиоактивно загрязненных участков территории

Проблема вывода из эксплуатации (ВЭ) радиационных объектов вследствие их старения, выработки проектного ресурса или других причин неизбежно встает перед всеми странами, развивающими атомную энергетику.

В настоящее время в РФ действуют следующие нормативные документы системы санитарно-эпидемиологического нормирования по обеспечению радиационной безопасности персонала и населения при выводе РО из эксплуатации:

- СП 6028-91 «Санитарные правила ликвидации, консервации и перепрофилирования предприятий по добыче и переработке радиоактивных руд» (СП ЛКП-91);
- СП 2.6.1-48-01 «Санитарные правила обеспечения радиационной безопасности при выводе из эксплуатации промышленных реакторов» (СП ВЭ ПР-01);
- Санитарные правила СП 2.6.1.23-05 «Обеспечение радиационной безопасности при выводе из эксплуатации комплектующего предприятия» (СП ВЭ-КП-05);
- Санитарные правила СП 2.6.1.2205-07 «Обеспечение радиационной безопасности при выводе из эксплуатации блока атомной станции» (СП ВЭ БАС-07).

Из числа вышеперечисленных нормативных документов только СА ВЭ-КП -05 не нуждаются в актуализации и

переработке. Остальные документы могут быть приведены в соответствие современным требованиям в течение ближайших 2–3 лет.

Осуществление процесса ВЭ ядерных установок, радиационных источников и пунктов хранения невозможно без совершенствования существующей нормативно-правовой базы и создания необходимых дополнительных нормативных (Санитарные правила) и методических документов, регламентирующих условия безопасного вывода РО из эксплуатации в части:

- уточнения и разработки нормативной регламентации состояния безопасности объектов на всех этапах их вывода из эксплуатации;
- определения критериев конечного состояния выводимых из эксплуатации РО и реабилитируемых территорий, зданий и сооружений, исходя из обеспечения безопасности населения на основе накопленного отечественного и зарубежного опыта и рекомендаций международных организаций;
- регламентации безопасного обращения с образующимися и ранее накопленными радиоактивными отходами (РАО);
- определения порядка перехода надзорных функций в отношении выведенных из эксплуатации объектов и реабилитированных территорий от ФМБА России к органам Роспотребнадзора.

Определяющим принципом при выводе ядерных и радиационных объектов из эксплуатации должно стать положение, согласно которому будущие поколения не должны расплачиваться за выгоды от использования атомной энергии, полученные нынешним поколением.

В последние годы в России начаты работы по ВЭ и экологической реабилитации РО, эксплуатация которых зачастую осуществляется в нестандартных условиях.

Характерным примером эксплуатации РО в нестандартных условиях являлась эксплуатация пункта времен-

ного хранения РАО и отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) атомных подводных лодок и ледокольного флота, находящегося в ведении Центра по обращению с РАО – отделения губа Андреева СЗЦ «СевРАО» – филиала ФГУП «РосРАО» (далее – отделение губа Андреева). Работы по хранению ОЯТ и РАО в начальный период осуществлялись в относительно нестандартных условиях, которые в общем виде включали в себя:

- недостаточный объем информации о радиационно-гигиеническом и физическом состоянии ОЯТ;
- вынужденное размещение ОЯТ в сооружениях, не предназначенных для этих целей;
- наличие на территории и в производственных зданиях повышенных уровней содержания радионуклидов и внешнего гамма-излучения;
- аварийное состояние строительных конструкций ряда зданий и сооружений.

Наиболее потенциально опасными являются работы по реабилитации хранилища ОЯТ бассейнового типа (здание № 5) для хранения ОЯТ по технологии «мокрое хранение», которое было построено в 1962 г. В 1982 г. было выявлено нарушение герметичности этого хранилища, и возникла необходимость прекращения использования данного сооружения. Все ОЯТ было выгружено из хранилища и помещено в каналы блоков сухого хранения.

Для оценки сложившейся радиационной обстановки специалистами ФМБЦ им. А.И. Бурназяна совместно со службой радиационной безопасности отделения губа Андреева СЗЦ «СевРАО» в 2005 г. были проведены экспериментальные исследования в здании 5 [2, 3].

В таблице приведены результаты замеров мощности эквивалентной дозы (МЭД) внешнего гамма-излучения в технологическом зале здания № 5. Технологический зал – помещение бассейнов, из которых было выгружено ОЯТ.

Как показывают результаты измерений МЭД, при работах в технологическом зале в 2005 г. персонал мог

Распределение МЭД гамма-излучения по высоте в технологическом зале здания № 5

Таблица

[Table

Distribution of gamma EDR by height in the technological hall of the building No. 5]

№№ точек [Numbers of points]	МЭД внешнего гамма-излучения External gamma EDR						
	Стопы [feet]	Низ живота [underbelly]		Грудь [chest]	Хрусталики глаз [lens of the eye]		
	мЗв/ч [mSv/h]	мЗв/ч [mSv/h]	% от стоп [% of feet]	мЗв/ч [mSv/h]	% от стоп [% of feet]	мЗв/ч [mSv/h]	% от стоп [% of feet]
1	0,22	0,15	68	0,16	73	0,16	73
2	1,20	0,93	78	0,77	64	0,68	57
3	2,50	1,10	44	0,42	17	0,45	18
4	4,10*	1,70*	41	0,84	20	0,73*	18
5	3,10	1,40	45	1,10*	35	0,45	15
6	0,96	0,51	53	0,35	36	0,27	28
среднее [average]	2,01	0,96	55	0,61	41	0,46	35

* – максимальное значение

[* – the highest value]

работать не более 42 шестичасовых смен в условиях воздействия средних значений МЭД (до достижения индивидуальной эффективной дозы 20 мЗв).

За последнее время разработана технология удаления оставшегося в бассейнах ОЯТ и высокоактивных РАО и проведены работы по улучшению радиационной обстановки. Однако выполнение работ по реабилитации хранилища ОЯТ бассейнового типа должно выполняться под пристальным надзором уполномоченных федеральных органов.

В настоящее время осуществляется разработка комплекса нормативно-методических документов по обеспечению радиационной безопасности персонала и населения при экологической реабилитации ПВХ в Северо-западном и Дальневосточном регионах. Работы проводятся по заданию ФМБА России при поддержке Государственного управления Норвегии по ядерной и радиационной безопасности и ГК «Росатом».

Одним из первых методических документов по защите персонала и населения при проведении реабилитационных работ было разработано и внедрено Руководство Р 2.6.5.026-15 «Обеспечение радиационной безопасности персонала и населения при проведении работ по реабилитации загрязненных радионуклидами участков территории». Данное Руководство регламентирует санитарно-гигиенические и организационные требования к обеспечению радиационной безопасности персонала и населения при проведении работ по реабилитации территорий, загрязненных радиоактивными веществами и подлежащих обслуживанию ФМБА России. Руководство может использоваться при реабилитации загрязненных радионуклидами участков территории в результате радиационных аварий, при выводе радиационных объектов из эксплуатации и при ликвидации объектов ядерного наследия.

Обеспечение радиационной безопасности при обращении с отработавшим ядерным топливом

До настоящего времени в Российской Федерации отсутствует законодательное регламентирование обеспечения безопасности проведения радиационно опасных работ при обращении с ОЯТ энергетических, транспортных и исследовательских атомных реакторов, критических стенов. ОЯТ – это ядерное топливо, извлеченное из реактора после облучения и непригодное для дальнейшего использования без переработки. Переработка ОЯТ направлена на получение компонентов ядерного топлива и извлечение радиоактивных изотопов для дальнейшего использования.

ОЯТ является потенциально опасным продуктом деятельности атомных энергетических установок: именно в нем сосредоточено до 98% общей радиоактивности материалов, вовлеченных в сферу человеческой деятельности [9].

Для решения задачи нормативного обеспечения безопасности персонала и населения на этапах обращения с

ОЯТ необходимо предусмотреть разработку Санитарных правил обеспечения радиационной безопасности персонала и населения при обращении с ОЯТ. В данных правилах должны быть представлены требования обеспечения безопасности при:

- обращении с ОЯТ на объектах его образования;
- хранении ОЯТ;
- транспортировке ОЯТ;
- переработке ОЯТ;
- изготовлении регенерированного топлива для атомных станций;
- изготовлении МОХ-топлива;
- эксплуатации регенерированного и МОХ-топлива на АЭС;
- обращении с РАО, образовавшимися на этапах обращения с ОЯТ.

Заключение

В решении комплекса задач, определенных в «Основах государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации на период до 2025 года и дальнейшую перспективу» самое активное участие принимают специалисты федеральных органов исполнительной власти, уполномоченных осуществлять федеральный государственный санитарно-эпидемиологический надзор, и соответствующих научных организаций.

Наиболее актуальными проблемами в области обеспечения радиационной безопасности персонала и населения являются:

- совершенствование нормативно-методического обеспечения государственного регулирования радиационной безопасности;
- обеспечение безопасности персонала и населения при выводе из эксплуатации радиационных объектов и реабилитации радиоактивно загрязненных участков территории;
- обеспечение радиационной безопасности при обращении с ОЯТ.

Литература

1. Нормы безопасности МАГАТЭ. Радиационная защита и безопасность источников излучения: Международные основные нормы безопасности. Общие требования безопасности, часть № GSR Part 3. IAEA Vienna, 2015. – 518 с.
2. Симаков, А.В. Проблемы обеспечения радиационной безопасности в нестандартных условиях / А.В. Симаков, Ю.В. Абрамов, М. Сневе [и др.] // Сборник докладов международной конференции «Современные проблемы обеспечения радиационной безопасности населения». Санкт-Петербург, 4-7 декабря 2006 г., – С-Петербург, 2006. – С. 71-73.
3. Simakov A. [et al.] Special Features of the Personnel Radiation Protection Assurance During SNF and RW Management at SevRAO Facilities. Springer; 2008 Challenges in Radiation Protection and Nuclear Safety Regulation of the Nuclear Legacy, 2008, pp. 223-232.

Поступила: 14.05.2019 г.

Симаков Анатолий Викторович – кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией Государственного научного центра – Федерального медицинского биофизического центра им. А.И. Бурназяна Федерального медико-биологического агентства, Москва, Россия

Романов Владимир Васильевич – заместитель руководителя Федерального медико-биологического агентства, Москва, Россия

Абрамов Юрий Викторович – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Государственный научный центр – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна Федерального медико-биологического агентства. Адрес для переписки: 123182, г. Москва, ул. Живописная, д. 46; E-mail: abramov-1948@yandex.ru

Проскурякова Наталия Леонидовна – научный сотрудник, Государственный научный центр – Федеральный медицинский биофизический Центр им. А.И. Бурназяна Федерального медико-биологического агентства, Москва, Россия

Для цитирования: Симаков А.В., Романов В.В., Абрамов Ю.В., Проскурякова Н.Л. Актуальные задачи радиационной гигиены // Радиационная гигиена. – 2019. – Т. 12, № 2 (Спецвыпуск). – С. 109-114. DOI: 10.21514/1998-426X-2019-10-2s-109-114.

Current tasks of radiation health physics

Anatoliy V. Simakov ¹, Vladimir V. Romanov ², Yuriy V. Abramov ¹, Nataliya L. Proskuryakova ¹

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

²Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia

The fundamentals of the state policy in the field of nuclear and radiation safety of the Russian Federation for the period up to 2025 and the further perspective have determined that one of the objectives of the state policy in the field of radiation safety is to maintain the risk of radiation exposure of the nuclear workers as low as possible. To achieve this goal, efforts and resources should be focused on solving a number of tasks, including: protection in accordance with the principle of acceptable risk for nuclear workers; improvement of the state management and state regulation of safety in the field of nuclear energy using; radiation safety assurance during the decommissioning of nuclear legacy facilities, management of spent nuclear fuel, remediation of radioactively contaminated sites of the Russian Federation. Today, federal authorities responsible for monitoring and supervising the health and epidemiological welfare of workers in some industries with especially hazardous working conditions, and research institutions involved in scientific and methodological support of these authorities are faced with the task of solving the following urgent problems in the field of radiation safety: to improve regulatory and methodical support of the state radiation safety regulation; to assure safety and protection of workers and the population during the decommissioning of radiation hazardous facilities and remediation of radioactively contaminated sites; to assure radiation safety during the management of spent nuclear fuel.

Key words: radiation safety, spent nuclear fuel, decommissioning of radiation facilities, remediation of radioactively contaminated sites.

References

1. IAEA Safety Standards. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. General Safety Requirements, GSR Part 3. IAEA Vienna, 2015, 518 p. (In Russian).
2. Simakov A.V. [et al.] Challenges in Radiation Safety Assurance under Abnormal Conditions / In Proceedings of Int. Conf. "Up-to-date Problems in Radiation Safety of the Population", 2006, St.-Petersburg, pp. 71-73. (In Russian).
3. Simakov A. [et al.] Special Features of the Personnel Radiation Protection Assurance During SNF and RW Management at SevRAO Facilities. Springer; 2008 Challenges in Radiation Protection and Nuclear Safety Regulation of the Nuclear Legacy, 2008, pp. 223-232.

Received: May 14, 2019

Yuriy V. Abramov

State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center

Address for correspondence: Zhivopisnaya ul., 46, Moscow, 123182; E-mail: abramov-1948@yandex.ru

Anatoliy V. Simakov – MD, senior scientist, head of the laboratory of State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia

Vladimir V. Romanov – Deputy head of Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia

For correspondence: Yuriy V. Abramov – Candidate of technical sciences, lead scientist, State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency (Zhivopishnaya ul., 46, Moscow, 123182; E-mail: abramov-1948@yandex.ru)

Nataliya L. Proskuryakova – scientist of State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia

For citation: Simakov A.V., Romanov V.V., Abramov Yu.V., Proskuryakova N.L. Current tasks of radiation health physics. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene, 2019, Vol. 12, No. 2 (special issue), pp. 109-114. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426x-2019-12-2s-109-114.

Радиационно-гигиенический мониторинг и оценка доз облучения населения, проживающего на радиоактивно загрязненных территориях Тульской области

А.Э. Ломовцев, Т.Е. Шевелева, А.С. Карпухин, А.И. Володичева

Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Тульской области, Тула, Россия

Цель: анализ результатов радиационно-гигиенического мониторинга, проводимого на территориях Тульской области, пострадавших вследствие аварии на Чернобыльской АЭС, содержания цезия-137 и стронция-90 в продуктах питания местного происхождения и анализ годовой эффективной дозы облучения населения. Материалы и методы: исследования проводились на территории Тульской области с 1997 по 2018 г. За этот период проведены исследования показателей радиационной безопасности более 50 тыс. проб основных продуктов питания, отобранных в зоне радиоактивного «чернобыльского» загрязнения области с одновременным измерением мощности дозы внешнего гамма-излучения в стационарных контрольных точках. Выполнена оценка динамики содержания цезия-137 и стронция-90 в продуктах питания, максимальных величин средних годовых эффективных доз облучения населения и вклада коллективной дозы облучения при выполнении медицинских исследований в структуру годовой эффективной коллективной дозы облучения населения. Результаты: получены результаты содержания цезия-137 и стронция-90 в основных продуктах питания местного происхождения. Установлены показатели мощности дозы внешнего гамма-излучения, которые стабильны и находятся в пределах естественных колебаний, характерных для средних широт европейской территории России. Значение максимальной величины средней годовой эффективной дозы облучения населения свидетельствует о стабильной радиационной обстановке и не превышает нормируемого показателя в 1 мЗв. Отмечается и постоянное снижение вклада коллективной дозы облучения населения при выполнении медицинских исследований в структуру годовой эффективной коллективной дозы облучения, а также снижение средней индивидуальной дозы облучения населения за процедуру при ежегодном увеличении количества медицинских процедур. Вывод: отсутствие превышений допустимых уровней содержания цезия-137 и стронция-90 в пищевых продуктах местного происхождения, снижение средней годовой эффективной дозы облучения населения области свидетельствует о возможности перевода населенных пунктов, пострадавших в результате аварии на Чернобыльской АЭС, к условиям нормальной жизнедеятельности, предлагаемой в рамках перевода населенных пунктов из чернобыльской зоны.

Ключевые слова: Чернобыль, население, радиационно-гигиенический мониторинг, доза облучения, пищевые продукты.

Последствием аварии на Чернобыльской АЭС для Тульской области явилось радиоактивное загрязнение почти 50% ее территории. С первых дней аварии службой Госсанэпиднадзора осуществляется радиационно-гигиенический мониторинг территорий области с отбором проб продуктов питания местного производства и даров леса с целью определения уровней содержания цезия-137 и стронция-90 в данных продуктах, а также отслеживание мощности дозы внешнего гамма-излучения в стационарных контрольных точках наблюдения. В аварийный период до начала 1990-х гг. специалисты санитарно-эпидемиологической службы участвовали в проведении гигиенической оценки территорий, выявлении

локальных участков радиоактивного загрязнения почвы вследствие выпадения осадков, содержащих радионуклиды цезия-137 и стронция-90 с последующей их дезактивацией, исследовании радиационной безопасности пищевых продуктов, информировании органов власти.

В соответствии с Постановлением Правительства РФ от 18.12.1997 г. № 1582 «Об утверждении перечня населенных пунктов, находящихся в границах зон радиоактивного загрязнения вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС» 1306 населенных пунктов области были отнесены к находящимся в границах зон радиоактивного загрязнения вследствие аварии на Чернобыльской АЭС, из них к зоне с правом на отселение было отнесе-

Карпухин Александр Сергеевич

Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Тульской области

Адрес для переписки: 300045, Тула, ул. Оборонная, д. 114; E-mail: tula@71.rospotrebnadzor.ru

но 122 населенных пункта (9,0% от общего числа пострадавших населенных пунктов) и к зоне проживания с льготным социально-экономическим статусом было отнесено 1184 населенных пункта – 91%. В соответствии с Постановлением Правительства РФ от 08.10.2015 г. № 1074 «Об утверждении перечня населенных пунктов, находящихся в границах зон радиоактивного загрязнения вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС» в настоящее время в Тульской области 1215 населенных пунктов находятся в границах зон радиоактивного загрязнения вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС (27 – в зоне с правом на отселение, 1188 – в зоне со льготным социально-экономическим статусом) (Постановление Правительства РФ от 18.12.1997 г. № 1582 «Об утверждении перечня населенных пунктов, находящихся в границах зон радиоактивного загрязнения вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС», Постановление Правительства РФ от 08.10.2015 г. № 1074 «Об утверждении перечня населенных пунктов, находящихся в границах зон радиоактивного загрязнения вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС»). На данных территориях проживает более 600 тысяч человек, что составляет 45% от общей численности населения области, в зоне с правом на отселение проживает всего 1,3% населения.

В настоящее время продолжается работа по уточнению радиационной обстановки во всех радиоактивно загрязненных районах области и проводится мониторинг динамики показателей радиационной безопасности объектов среды обитания, который включает в себя лабораторные исследования продуктов питания, произведенных на данных территориях, а также оценку и анализ средних годовых эффективных доз облучения населения. За период с 1997 по 2018 г. были проведены исследования показателей радиационной безопасности более 50 тыс. проб пищевой продукции в зоне радиоактивного «чернобыльского» загрязнения Тульской области. В том числе за период с 2005 по 2018 г. исследовано почти 10,0 тыс. проб основных продуктов питания населения (молочная, мясная и рыбная продукция, овощи и дикорастущие грибы и ягоды), превышений допустимых уровней содержания цезия-137 и стронция-90 не обнаружено (рис. 1).

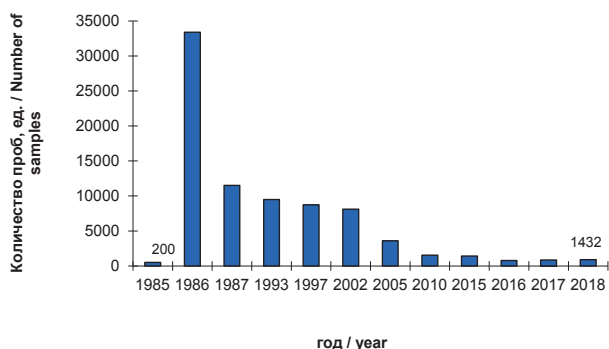


Рис. 1. Объемы исследований продуктов питания местного происхождения за период 1985–2018 гг.

[Fig. 1. Number of samples of the locally produced food products in 1985–2018]

В целях радиационно-гигиенического мониторинга модернизировано лабораторно-инструментальное оснащение радиологической лаборатории ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Тульской области». Внедрение современных методов радиационного контроля, применение спектрометрических комплексов и универсальных радиометрических приборов позволяет решать разнообразные вопросы радиационного контроля и осуществлять радиационно-гигиенический мониторинг на более высоком уровне [1].

Результаты выполненных лабораторных исследований содержания цезия-137 в сельскохозяйственной продукции местного происхождения за весь период наблюдений показали, что превышения допустимых уровней по содержанию данного радионуклида в сельхозпродукции наблюдались только в 1986 г. При этом превышения допустимых уровней по содержанию цезия-137 в дарах леса (грибы) наблюдались вплоть до 2004 г. (рис. 2).

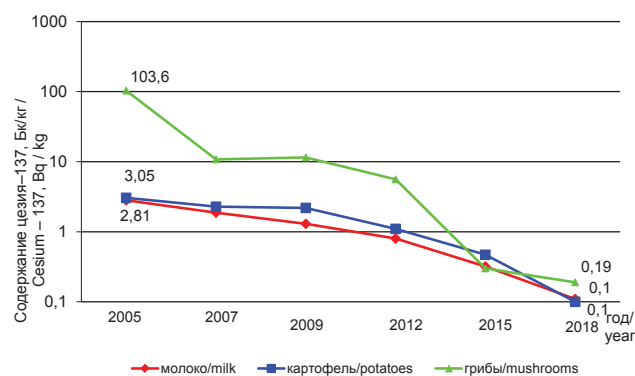


Рис. 2. Динамика содержания цезия-137 в пищевых продуктах сельскохозяйственного производства местного производства и дарах леса за период 2005–2018 гг.

[Fig. 2. Dynamics of concentration of ¹³⁷Cs in locally produced agricultural and forest food products in 1985–2018]

За весь послеаварийный период не было выявлено ни одного превышения допустимого уровня по содержанию стронция-90 в пищевых продуктах местного сельскохозяйственного производства и природного происхождения [2, 3].

Это объясняется тем, что в структуре почвенного покрова Тульской области основную долю занимают черноземы (57%) и серые лесные почвы (35%). Данный вид почв характеризуется низкими значениями коэффициента перехода радионуклидов по биологической цепочке из почвы в растение, позволяя минимизировать вклад содержания цезия-137 и стронция-90 в формирование дозы внутреннего облучения населения. Однако доаварийного уровня содержания цезия-137 и стронция-90 в пищевых продуктах пока не достигнуто.

С 1993 г. ни в одном населенном пункте области не было установлено превышений средней годовой эффективной дозы в 1 мЗв, регламентированной Федеральным законом от 15.05.1991 г. № 1244-1 «О социальной защите граждан, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС». Расчетные величины средних годовых эффективных доз облучения

жителей имеют тенденцию к снижению в течение многих лет. Так, если в 1996 г. максимальный уровень СГЭД₉₀ составлял 0,8 мЗв/год, то в 2018 г. максимальный уровень составил 0,46 мЗв/год (рис. 3). [4, 5].

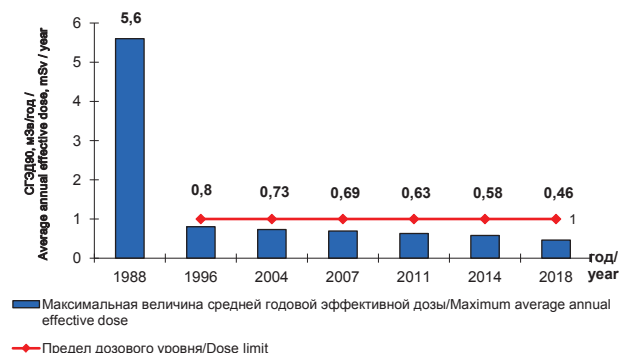


Рис. 3. Изменение максимальной величины СГЭД₉₀ за период 1988–2018 гг.
[Fig.3. Trends of changes of maximal values of mean annual effective dose₉₀ in 1988–2018]

Приведенные данные свидетельствуют о стабильной радиационной обстановке на радиоактивно загрязненных территориях области, низких уровнях содержания цезия-137 и стронция-90 в продуктах питания местного производства и дарах леса и низких дозах внутреннего и внешнего облучения как всего населения, так и критических групп.

Средние годовые эффективные дозы облучения населения пострадавших территорий области не превышают нормируемого показателя в 1 мЗв, даже несмотря на то, что для 19 185 жителей, проживающих в пострадавших населенных пунктах, плотность загрязнения почвы цезием-137 составляет от 5 и до 15 Ки/км², а для 586 854 жителей – от 1 до 5 Ки/км² (рис. 4) [1, 6].

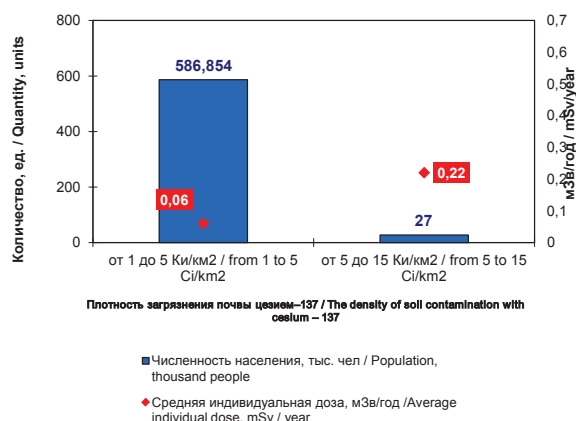


Рис. 4. Численность и годовые эффективные дозы населения, проживающего на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению за счет радиационных аварий прошлых лет
[Fig.4. Number and annual effective doses of the public residing on the radioactively contaminated territories]

В 2018 г. структура годовой эффективной коллективной дозы облучения населения области складывается из облучения от деятельности предприятий, использующих источники ионизирующего излучения, составляющего 0,02%; техногенно измененного радиационного фона – практически 0,55%; природных источников – 89,69%; медицинских исследований – 9,74%. Общая величина данного показателя составила 8372,71 чел.-Зв/год. Средняя годовая эффективная доза от внешнего гамма-излучения в 2018 г. на одного жителя составила 0,724 мЗв/чел. Средняя индивидуальная доза облучения населения Тульской области в расчете на одного жителя области составила 5,662 мЗв (рис. 5). При этом значение данного показателя в среднем по Российской Федерации составило 3,87 мЗв/год в 2017 г. [7, 8].

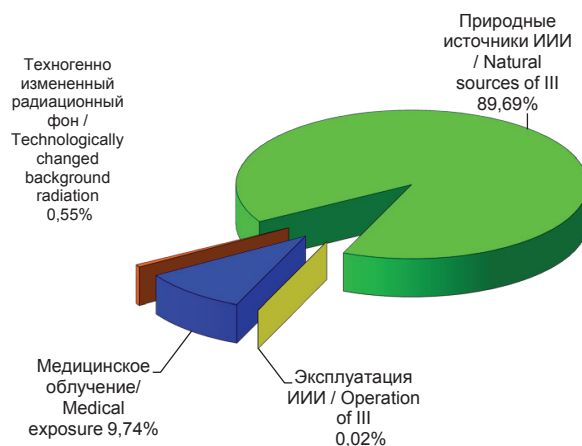


Рис. 5. Структура годовой эффективной коллективной дозы облучения населения Тульской области в 2018 г.
[Fig. 5. The structure of the annual effective collective dose of the public of the Tula region in 2018]

Системный анализ результатов комплексного изучения состояния здоровья населения свидетельствует, что в Тульской области действуют все группы факторов (образ жизни, внешняя среда, наследственность, качество медицинской помощи), причем среди приоритетных его показателей состояние внешней среды не является определяющим. Наиболее интенсивное ухудшение свойственно тем показателям здоровья, которые теоретически и реально определяются в значительной мере поведенческими стереотипами населения [9].

В преобладающем большинстве населенных пунктов, отнесенных к зонам радиоактивного загрязнения, население перешло к привычному укладу жизни, не отличающемуся от уклада жизни в соседних «незагрязненных» населенных пунктах. Анализ радиационных показателей свидетельствует о возможности перевода населенных пунктов, пострадавших в результате аварии на Чернобыльской АЭС, к условиям нормальной жизнедеятельности [10].

Литература

1. Ломовцев, А.Э. Радиационно-гигиенический мониторинг и оценка доз облучения населения, проживающего

- на радиоактивно-загрязненных территориях Тульской области / А.Э. Ломовцев, А.Ю. Хожанинов, Т.М. Чичура // Чернобыль – 30 лет спустя. Радиационно-гигиенические аспекты преодоления последствий аварии на ЧАЭС: Сб. тез. межд. науч.-практ. конф. – СПб, 2016. – С. 114 – 116.
2. Болдырева, В.В., Овчарова В.Н. Радиационный мониторинг пищевых продуктов на радиоактивно загрязненной территории Тульской области на современном этапе / В.В. Болдырева, В.Н. Овчарова // Чернобыль – 30 лет спустя. Радиационно-гигиенические аспекты преодоления последствий аварии на ЧАЭС: Сб. тез. межд. науч.-практ. конф. – СПб, 2016. – С. 21 – 23.
 3. Онищенко, Г.Г. Радиационно-гигиенические и медицинские последствия Чернобыльской аварии: итоги и прогноз / Г.Г. Онищенко // Радиационная гигиена. – 2011. – Т.4, № 2. – С. 23-30.
 4. Брук, Г.Я. Облучение населения Российской Федерации вследствие аварии на Чернобыльской АЭС и основные направления дальнейшей работы на предстоящий период / Г.Я. Брук, А.Б. Базюкин, А.Н. Барковский, А.А. Братилова, А.Ю. Власов, Ю.Н. Гончарова, А.В. Громов, Т.В. Жеско, С.А. Иванов, М.В. Кадука, О.С. Кравцова, В.В. Кучумов, И.К. Романович, К.А. Сапрыкин, Н.В. Титов, И.Г. Травникова, В.А. // Радиационная гигиена. – 2014. – Т.7, № 4. – С. 72 – 83.
 5. Брук, Г.Я. Средние годовые эффективные дозы облучения в 2014 году жителей населенных пунктов Российской Федерации, отнесенных к зонам радиоактивного загрязнения вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС (для целей зонирования населенных пунктов) / Г.Я. Брук, А.Б. Базюкин, А.А. Братилова, А.Ю. Власов, Ю.Н. Гончарова, А.В. Громов, Т.В. Жеско, М.В. Кадука, О.С. Кравцова, И.К. Романович, К.А. Сапрыкин, В.С. Степанов, Н.В. Титов, И.Г. Травникова, О.Е. Тутельян, В.А. Яковлев // Радиационная гигиена. – 2015. – Т.8, № 2. – С. 32-128.
 6. Романович, И.К. Обоснование концепции перехода населенных пунктов, отнесенных в результате аварии на Чернобыльской АЭС к зонам радиоактивного загрязнения, к условиям нормальной жизнедеятельности населения / И.К. Романович, Г.Я. Брук, А.Н. Барковский, А.А. Братилова, А.В. Громов, М.В. Кадука // Радиационная гигиена. – 2016. – Т.9, № 1. – С. 6 – 18.
 7. Результаты радиационно-гигиенической паспортизации в субъектах Российской Федерации за 2018 год: Радиационно-гигиенический паспорт Российской Федерации. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2019. – 237 с.
 8. Репин, В.С. Итоги функционирования Единой Государственной Системы контроля и учета индивидуальных доз облучения граждан Российской Федерации по данным за 2014 г. / В.С. Репин, Н.К. Барышков, А.А. Братилова, К.В. Варфоломеева, Ю.Н. Гончарова, Д.В. Кононенко, Т.А. Кормановская, С.И. Кувшинников, Л.В. Репин, И.К. Романович, А.В. Световидов, И.П. Стамат, О.Е. Тутельян // Радиационная гигиена. – 2015. – Т.8, № 3. – С. 86-115.
 9. Ломовцев, А.Э. Популяционная диагностика состояния здоровья населения Тульской области: Монография // А.Э. Ломовцев, Л.И. Шишкина, Ю.И. Григорьев / Под общ. ред. акад. МАН и МАНЭБ, проф. Ю.И. Григорьева. – Тул. Гос. Ун-т; ЦГСЭН в ТО. – Тула, 2002. – 125 с.
 10. Радиационно-гигиенические аспекты преодоления последствий аварии на Чернобыльской АЭС / под редакцией академика РАН Онищенко Г.Г. и профессора Поповой А.Ю. – СПб.: НИИРГ имени проф. П.В. Рамзаева, 2016. – Т.1. – 448 с.

Поступила: 14.05.2019 г.

Ломовцев Александр Эдуардович – доктор медицинских наук, руководитель Управления Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Тульской области, Тула, Россия

Шевелева Татьяна Евгеньевна – кандидат медицинских наук, начальник отдела Управления Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Тульской области, Тула, Россия

Карпукhin Александр Сергеевич – заместитель начальника отдела Управления Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Тульской области. **Адрес для переписки:** 300045, г. Тула, ул. Оборонная, д. 114; E-mail: tula@71.rospotrebnadzor.ru

Володичева Алина Ивановна – специалист-эксперт отдела Управления Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Тульской области, Тула, Россия

Для цитирования: Ломовцев А.Э., Шевелева Т.Е., Карпукhin А.С., Володичева А.И. Радиационно-гигиенический мониторинг и оценка доз облучения населения, проживающего на радиоактивно загрязненных территориях Тульской области // Радиационная гигиена. – 2019. – Т. 12, № 2 (Спецвыпуск). – С. 115-120. DOI: 10.21514/1998-426X-2019-10-2s-115-120.

Radiation-hygienic monitoring and assessment of the doses of the public residing on the radioactively contaminated territories of the Tula region

Aleksandr E. Lomovtsev, Tatyana E. Sheveleva, Aleksandr S. Karpukhin, Alina I. Volodicheva

Directorate of the Federal Service on Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being in Tula region, Tula, Russia

Aim of the study: analysis of the results of the radiation-hygienic monitoring of the territories of the Tula region, contaminated due to the Chernobyl NPP accident; concentration of ^{137}Cs and ^{90}Sr in the locally produced food products and analysis of the annual effective dose of the public. Materials and methods: the study was performed in the Tula region in 1997-2018. It included the evaluation of the indicators of the radiation safety of more than 50 thousand samples of the main food products, sampled in the areas of the radioactive "Chernobyl" contamination of the region with the simultaneous measurement of the external gamma-radiation dose rate in the stationary control points. Additionally, it included the assessment of the dynamics of concentration of ^{137}Cs and ^{90}Sr in food products, maximal values of mean annual effective doses of the public and contribution of the collective dose from medical exposure into the structure of the annual collective dose of the public. Results: The study allowed estimating the concentration of ^{137}Cs and ^{90}Sr in the main local food products. Estimated values of gamma radiation dose rate were stable and laid in the range of normal variations specific to the middle latitudes of the European part of Russia. The values of maximal mean annual effective doses of the public indicate the stable radiation environment and do not exceed 1 mSv. It should be mentioned that the contribution of collective dose from medical exposure into the annual collective dose of the public as well as the values of mean individual effective doses from medical exposure are reducing with the increase in the number of X-ray examinations. Conclusions: The lack of exceedances of the permissible levels of ^{137}Cs and ^{90}Sr in the locally produced food products and the reduction of the mean annual effective dose of the public indicates the possibility of the transfer of the settlements affected by the Chernobyl NPP accident into the normal living conditions within the program of the transfer of the settlements from the "Chernobyl" zone.

Key words: Chernobyl, population, radiation hygienic monitoring, radiation dose, food products.

References

1. Lomovtsev A.E., Khozhainov A.Yu., Chichura T.M. Radiation-hygienic monitoring and assessment of the doses of the public residing on the radioactively contaminated territories of the Tula region. Chernobyl 30 years later. Radiation-hygienic aspects of the negotiation of the consequences of the Chernobyl NPP accident: Proceedings of the international scientific-practical conference. St-Petersburg, 2016, pp. 114-116 (In Russian).
2. Boldyreva V.V., Ovcharova V.N. Radiation monitoring of the food products on the radioactively contaminated territory of the Tula region on the modern stage. Chernobyl 30 years later. Radiation-hygienic aspects of the negotiation of the consequences of the Chernobyl NPP accident: Proceedings of the international scientific-practical conference. St-Petersburg, 2016, pp. 21 – 23 (In Russian).
3. Onischenko G.G. Radiation-hygienic and medical consequences of the Chernobyl accident: results and prognosis. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene. 2011;4(2):23-30. (In Russian).
4. Bruk G.Ya., Bazyukin A.B., Barkovsky A.N., Bratilova A.A., Vlasov A.Yu., Goncharova Yu.N., Gromov A.V., Zhesko T.V., Ivanov S.A., Kaduka M.V., Kravtsova O.S., Kuchumov V.V., Romanovich I.K., Saprykin K.A., Titov N.V., Travnikova I.G., Yakovlev V.A. The exposure for populations of the Russian Federation due to the Chernobyl accident and main directions of further work in the coming period. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene. 2014;7(4):72-83. (In Russian).
5. Bruk G.Ya., Bazyukin A.B., Bratilova A.A., Vlasov A.Yu., Goncharova Yu.N., Gromov A.V., Zhesko T.V., Kaduka M.V., Kravtsova O.S., Romanovich I.K., Saprykin K.A., Stepanov V.S., Titov N.V., Travnikova I.G., Tutelyan O.E., Yakovlev V.A. The average annual effective doses for the population of the settlements of the Russian Federation attributed to zones of radioactive contamination due to the Chernobyl accident (for the zonation purposes), 2017. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene. 2017;10(4):73-78. (In Russian).
6. Romanovich I.K., Bruk G.Ya., Barkovsky A.N., Bratilova A.A., Gromov A.V., Kaduka M.V. Substantiation of the concept of transfer to conditions of normal population activity of the settlements considered to be zones of radioactive contamination after the Chernobyl NPP accident. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene. 2016;9(1):6-18. (In Russian).
7. Results of the radiation-hygienic passportisation in the subjects of the Russian Federation in 2018: Radiation-hygienic passport of the Russian Federation. Moscow, Federal center of the epidemiology and hygiene of Rospotrebnadzor, 2019, 237 p. (In Russian).
8. Repin V.S., Baryshkov N.K., Bratilova A.A., Varfolomeeva K.V., Goncharova Yu.N., Kononenko D.V., Kormanovskaya T.A., Kuvshinnikov S.I., Repin L.V., Romanovich I.K., Svetovidov A.V., Stamat I.P., Tutelyan O.E. The outcomes of functioning of unified system of individual dose control of Russian Federation citizens based on 2014 data. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene. 2015;8(3):86-115. (In Russian).
9. Lomovtsev A.E., Shishikina L.I., Grigoryev Yu.I. Population diagnostic of health condition of the public of the Tula region: monography. Ed. by academic of MAS and MANEB, prof.

Aleksandr S. Karpukhin

Directorate of the Federal Service on Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being in Tula region

Address for correspondence: Oboronnaya str., 114, Tula, 300045, Russia; E-mail: tula@71.rospotrebnadzor.ru

Yu. I. Grigoryev. Tula State University, Center of state epidemiological surveillance in Tula region. Tula, 2002, 125 p. (In Russian).

of RAS Onischenko G.G. and prof. Popova A. Yu. – St-Petersburg, NIIRG after P.V. Ramzaev, 2016, Vol. 1, 448 p. (In Russian).

10. Radiation-hygienic aspects of the negotiation of the consequences of the Chernobyl NPP accident / Ed. by academic

Received: May 14, 2019

Aleksandr E. Lomovtsev – Doctor of medical sciences, head of the directorate of the Federal Service on Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being in Tula region, Tula, Russia

Tatyana E. Sheveleva – MD, head of the department of the Directorate of the Federal Service on Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being in Tula region, Tula, Russia

For correspondence: Aleksandr S. Karpukhin – Deputy head of the department of the Directorate of the Federal Service on Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being in Tula region (Oboronnaya str., 114, Tula, 300045, Russia; E-mail: tula@71.rospotrebnadzor.ru)

Alina I. Volodicheva – Specialist-expert of the department of the Directorate of the Federal Service on Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being in Tula region, Tula, Russia

For citation: Lomovtsev A.E., Sheveleva T.E., Karpukhin A.S., Volodicheva A.I. Radiation-hygienic monitoring and assessment of the doses of the public residing on the radioactively contaminated territories of the Tula region. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene, 2019, Vol. 12, No. 2 (special issue), pp. 115-120. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426x-2019-12-2s-115-120.

О разработке контрольных уровней удельной суммарной альфа-активности проб воды для ряда источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения в Республике Хакасия

А.А. Пивоваров, Е.А. Пивоварова, В.Е. Курганов

Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Хакасия, Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Абакан, Россия

Целью работы является разработка контрольных уровней удельной суммарной альфа-активности проб воды для ряда источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения в Республике Хакасия на основании результатов многолетних лабораторных исследований. Материалы и методы. Анализ проведен на основании результатов лабораторных исследований воды источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения населения Республики Хакасия, выполненных аккредитованными испытательными лабораториями учреждений государственной санитарно-эпидемиологической службы республики за период с 2001 по 2018 г., с использованием альфа-бета-радиометрического, альфа-спектрометрического методов с радиохимической подготовкой счетных образцов, гамма-спектрометрического метода. Контрольные уровни удельной суммарной альфа-активности проб воды источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения в Республике Хакасия установлены по статистическому максимуму – сумме среднего значения с удвоенным стандартным отклонением, при объеме исследований более 30 и по максимальному значению при объеме исследований – менее 30. Результаты. Порядка половины исследованных проб воды источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения Республики Хакасия ежегодно отмечаются с превышением контрольного уровня удельной суммарной альфа-активности (0,2 Бк/кг). Полученные значения в исследованных пробах варьируют до 5,57 Бк/кг. За период наблюдения пробы воды с превышением контрольного уровня удельной суммарной альфа-активности (0,2 Бк/кг) были выявлены в населенных пунктах Алтайского, Аскизского, Бейского, Боградского, Орджоникидзевского, Таштыпского, Усть-Абаканского, Ширинского районов и г. Сорска, пгт Пригорска (г. Черногорск). В ранее проведенных исследованиях установлено, что высокие уровни удельной суммарной альфа-активности в Республике в основном обусловлены природными радионуклидами ураном-238 (^{238}U), ураном-234 (^{234}U). В ряде населенных пунктов Республики суммы отношений удельных активностей природных радионуклидов к соответствующим уровням вмешательства превышают 1,0. Значения средних годовых индивидуальных эффективных доз внутреннего облучения населения за счет природных радионуклидов питьевой воды находятся на уровне или превышают 0,1 мЗв/год (значения в пределах 0,1–0,2 мЗв/год), что не требует в безотлагательном порядке проведения радиационно-защитных мероприятий. При этом мониторинг за показателями радиационной безопасности воды источников водоснабжения должен проводиться в соответствии с установленными требованиями. В связи с этим в целях совершенствования контроля, для оперативной оценки радиационной обстановки и принятия своевременных решений по обеспечению радиационной безопасности населения проведен расчет контрольных уровней удельной суммарной альфа-активности. В результате расчетов получены конкретные значения контрольных уровней для каждого из водоисточников. Рассчитанные значения колеблются в пределах от 0,2 до 2,6 Бк/кг. Заключение. Контрольные уровни являются «объектовыми нормативами» и рассчитаны для каждого из источников водоснабжения. Их превышение будет рассматриваться как сигнал о «негативном изменении» радиационной обстановки, что может быть связано с увеличением значений удельных активностей ^{234}U , ^{238}U либо с появлением высокорadioтоксичных радионуклидов: ^{226}Ra , ^{210}Po , ^{228}Ra .

Ключевые слова: вода источников хозяйственно-питьевого водоснабжения населения, удельная суммарная альфа-активность, природные радионуклиды, контрольный уровень.

Пивоваров Анатолий Алексеевич

Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Хакасия

Адрес для переписки: 655017, РФ, Республика Хакасия, г. Абакан, ул. Ленина, д. 66; E-mail: aapiv@mail.ru

Введение

В 2017 г. учреждениями Роспотребнадзора проведены лабораторные исследования воды 31% источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения населения по показателям удельной суммарной альфа- и бета-активности от общего количества источников (2015 г. – 29%, 2016 г. – 30%) [3].

В 35 субъектах Российской Федерации отмечают превышения контрольных уровней (КУ) первичной оценки воды по показателям радиационной безопасности (2015 г. – 36, 2016 г. – 33). В 5 субъектах Российской Федерации отмечается более 20% проб с превышением КУ по удельной суммарной альфа-активности (Республика Хакасия, Иркутская, Ленинградская, Псковская области, Забайкальский край). Практически во всех случаях – это подземные природные воды, которые требуют наибольшего внимания в части контроля показателей радиационной безопасности [3].

Цель исследования – расчет контрольных уровней удельной суммарной альфа-активности проб воды для ряда источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения населения в Республике Хакасия на основании результатов лабораторных исследований за период 2001–2018 гг. в целях оптимизации контроля питьевой воды по показателям радиационной безопасности.

Задачи исследования

Оценка воды источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения по показателям удельной суммарной альфа-активности, удельной суммарной бета-активности, удельным активностям природных радионуклидов и их соотношениям к соответствующим уровням вмешательства. Расчет контрольных уровней удельной суммарной альфа-активности.

Материалы и методы

Объектом исследования является вода источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения населения Республики Хакасия. На основании результатов лабораторных исследований, выполненных аккредитованными испытательными лабораториями учреждений государственной санитарно-эпидемиологической службы Республики за период с 2001 по 2018 г. (аттестаты аккредитации ГСЭН.RU.ЦОА.085/1; ГСЭН.RU.ЦОА.085; РОСС RU.0001.510497), проведена гигиеническая оценка воды источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения населения Республики по показателям радиационной безопасности. Для проведения исследований использовались методы: альфа-бета-радиометрический с радиохимической подготовкой счетных образцов, гамма-спектрометрический, альфа-спектрометрический с радиохимической подготовкой и спонтанным бестолковым осаждением. Исследование суммарной альфа- (бета-) радиоактивности проводилось по методике ФГУП «ВНИИФТРИ». Определение удельной активности природных радионуклидов по методикам ФГУП «ВИМС».

КУ удельной суммарной альфа-активности (A_α) воды для ряда источников централизованного хозяйственно-

питьевого водоснабжения в Республике Хакасия рассчитаны в соответствии с методическими рекомендациями «Контрольные уровни ионизирующего излучения» [1].

При разработке КУ принято:

1. Показатель КУ не должен быть меньше показателя предварительной радиационной оценки (0,2 Бк/кг), установленного нормами радиационной безопасности.

2. Сумма отношений $UA_{^{234}\text{U}}, ^{238}\text{U}$ к соответствующим уровням вмешательства не должна превышать 1,0.

3. В качестве КУ для водоисточников с количеством измерений более 30 приняты среднеарифметические значения (М) удельной суммарной альфа-активности за весь период наблюдения с удвоенным стандартным отклонением (s) – «статистический максимум» [1].

4. Для водоисточников с количеством измерений за период наблюдения менее 30 в качестве КУ приняты максимальные значения [1].

5. При расчетах КУ по результатам измерения $UA_{^{234}\text{U}}, ^{238}\text{U}$ применено положение п. 6.7 МУ 2.6.1.1981-05 «Радиационный контроль и гигиеническая оценка источников питьевого водоснабжения и питьевой воды по показателям радиационной безопасности. Оптимизация защитных мероприятий источников питьевого водоснабжения с повышенным содержанием радионуклидов» [6] – вычтено 0,2 Бк на неопределенные радионуклиды.

Расчеты проводились с использованием компьютерных приложений Microsoft Office Excel.

Результаты и обсуждение

За период наблюдения с 2001 по 2018 г. с превышением КУ по A_α выявлено 52,7±10,2% проб воды источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения населения Республики. Превышения КУ A_α (0,2 Бк/кг) установлено в воде 124 источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения населения Республики Хакасия (порядка 60% от общего количества источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения).

За период 2001–2018 гг. более половины исследованных проб воды источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения населения с превышениями КУ по A_α выявлено в г. Сорске (80,4±33,4%), Ширинском (53,4±24,9%), Боградском (75,2±28,2%), Усть-Абаканском (73,8±25,8%), Алтайском (68,5±22,2%), Бейском (68,6±23%) районах.

За период наблюдения с 2001 по 2018 г. наибольшие значения A_α в воде источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения установлены в следующих населенных пунктах Республики: пгт Пригорск (г. Черногорск), г. Сорск, с. Новороссийское, с. Красноярское, д. Лукьяновка, д. Летник, с. Новотроицкое, с. Бея, с. Кирба, с. Боград, с. Московское, с. Вершино – Биджа, с. Зеленое, с. Солнечное, пгт Усть-Абакан, с. Шири, п. Коммунар, с. Джирим, с. Целинное, с. Бородино, с. Сарагаш, с. Первомайское и др. (табл. 1, 2).

За период 2001–2018 гг. максимальные значения A_α в воде источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения населения Республики превышали КУ до 28 раз и варьировали до 5,57 Бк/кг (рис.).

Таблица 1

[Table 1]

Удельный вес проб воды источников ХПВ с превышением КУ по A_u , (%)Ratio of the drinking and household water samples with A_u exceeding the control levels, %]

Административная территория [Administrative area]	Годы наблюдения [Year of survey]																	
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
г. Абаза [Abaza town]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
г. Абакан [Abakan city]	0	0	0	0	0	0	28,6	14,3	18,6	27,7	38,1	51,6	51,7	46,4	57,6	29,7	26,9	35,3
г. Саяногорск [Sayanogorsk town]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
г. Сорск [Sorsk town]	100	н/д [n/a]	50	33,3	100	100	100	100	100	92,3	100	100	100	85,7	100	75	100	10
г. Черногорск [Chernogorsk town]	0	33,3	14,2	25	40	20	33,3	50	66,6	40,0	62,5	75,0	50,0	50,0	66,6	66,6	66,6	100
Алтайский район [Altayskiy district]	62,5	33,3	88,9	88,9	100	50	33,3	52,0	69,2	84,4	68,0	73,9	83,3	90,5	100	68,4	35,7	50
Аскизский район [Askizkiy district]	20,0	н/д [n/a]	55,6	100	100	66,7	33,3	23,8	25,5	20,3	16,1	26,6	27,4	28,2	73,3	54,2	40	77,4
Бейский район [Beyskiy district]	54,5	50,0	55,6	100	100	66,7	33,3	57,1	70,0	83,3	100	53,5	87,5	50,0	78,3	27,2	68,4	100
Богородский рн [Bogradskiy district]	25,0	100	75	20	25	60	100	63,6	50,0	91,6	88,8	87,5	81,8	100	100	85,7	100	100
Орджоникидзевский район [Ordzhonikidzevskiy district]	0	н/д [n/a]	50	33,3	33,3	25	25	46,2	53,8	60,0	60,0	44,4	50,0	33,3	60	75	40	40
Таштыпский район [Tashtipskiy district]	88,9	н/д [n/a]	100	20	33,3	100	25	33,2	41,7	50,0	66,6	88,2	54,2	23,8	40	50	33,3	40
Усть-Абаканский район [Ust-Abakanskiy district]	28,6	0	62,5	52,2	87,5	57,1	88,9	94,4	92,5	89,2	93,9	89,3	76,2	85,2	83,3	73	100	75
Ширинский район [Shirinskiy district]	н/д	25,0	33,3	36,4	40	30,5	62,5	64,8	57,1	56,3	70,0	73,3	36,4	81,8	100	83,3	69,2	41,6
Республика Хакасия [Republic of Khakassia]	42,2	41,7	45,5	48,9	36,7	37,8	45,4	50	61,5	65,6	60,7	62,3	66,3	57,1	69,9	49,5	51,4	55,7

Таблица 2

Значение A_{α} в воде источников ХПВ, Бк/кг

[Table 2]

The values of A_{α} in the drinking and household water, Bk/kg

Населенный пункт [Residential area]	Численность населения, чел. [Number of residents, ppl]	A_{α}	
		M $\pm$ s	Макс.
пгт Пригорск [Prigorsk town]	2385	0,83 $\pm$ 0,3	1,86
г. Сорск [Sorsk town]	11416	0,5 $\pm$ 0,2	1,24
Алтайский район [Altayskiy district]			
с. Новороссийское [Novorossiyskoye village]	993	1,86 $\pm$ 0,8	3,5
с. Краснополье [Krasnopolye village]	658	3,01 $\pm$ 0,9	5,2
д. Лукьяновка [Lukyanovka village]	408	1,55 $\pm$ 0,7	2,8
д. Летник [Letnik village]	389	1,01 $\pm$ 0,1	1,1
Бейский район [Beyskiy district]			
с. Новотроицкое [Novotroitskoye village]	678	3,5 $\pm$ 1,3	5,3
с. Бея [Beya village]	5247	0,3 $\pm$ 0,3	0,97
с. Кирба [Kirba village]	1343	0,9 $\pm$ 0,6	2,15
Богградский район [Bogradskiy district]			
с. Боград [Bograd village]	4670	0,71 $\pm$ 0,4	2,8
с. Бородино [Borodino village]	1892	0,93 $\pm$ 0,7	1,9
с. Сарагаш [Sargash village]	901	0,73 $\pm$ 0,4	1,38
с. Первомайское [Pervomayskoye village]	1466	0,48 $\pm$ 0,4	1,19
Усть-Абаканский район [Ust-Abakanskiy district]			
с. Московское [Moskovskoye village]	1113	0,91 $\pm$ 0,4	2,8
с. Вершино – Биджа [Vershino-Bidzha village]	1088	0,56 $\pm$ 0,2	1,19
с. Зеленое [Zelenoye village]	1499	0,72 $\pm$ 0,3	1,4
с. Солнечное [Solnechnoye village]	1112	1,0 $\pm$ 0,6	2,1
с. Усть-Бюрь [Ust-Bur village]	1939	0,89 $\pm$ 0,6	2,03
Ширинский район [Shirinskiy district]			
с. Шира [Shira village]	9448	0,42 $\pm$ 0,2	1,19
с. Целинное [Tselinnoye village]	1432	0,3 $\pm$ 0,2	0,99
с. Джирим [Dzhirim village]	701	0,46 $\pm$ 0,3	0,91



Рис. Значение A_{α} в воде источников ХПВ, Бк/кг

[Fig. The values of A_{α} in the drinking and household water, Bq/kg; quadrants – average values; triangles – maximum values]

В ранее проведенных исследованиях установлено [5], что уровни A_{α} воды источников хозяйственно-питьевого водоснабжения населения в Республике, превышающие

КУ (0,2 Бк/кг), в основном обусловлены природными радионуклидами: ураном-238 (^{238}U), ураном-234 (^{234}U). В ряде населенных пунктов республики суммы отношений удельных активностей природных радионуклидов к соответствующим уровням вмешательства превышают 1,0. Превышений КУ удельной суммарной бета-активности за период наблюдения не установлено. Значения средних годовых индивидуальных эффективных доз внутреннего облучения населения за счет природных радионуклидов питьевой воды находятся на уровне или превышают 0,1 мЗв/год (значения в пределах 0,1–0,2 мЗв/год), что не требует безотлагательного проведения радиационно-защитных мероприятий [5].

Произведен расчет контрольных уровней A_{α} для ряда источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения в Республике Хакасия. Рассчитанные значения КУ колеблются в пределах от 0,2 до 2,6 Бк/кг (табл. 3).

Рассчитанные КУ A_{α} являются «объектовыми нормативами» и позволяют дополнительно проводить «скрининговую» оценку результатов лабораторных исследований

Таблица 3

Расчетные значения КУ A_{α} , Бк/кг

[Table 3]

Calculated values of A_{α} , Bq/kg]			
Административная территория [Administrative territory]	Населенный пункт [Residential area]	Количество проб, ед. [Number of samples]	КУ [Control level]
Алтайский район [Altayskiy district]	пгт Пригорск [Prigorsk town]	44	1,2
	г. Сорск [Sorsk town]	66	0,7
	с. Новороссийское [Novorossiyskoye village]	49	2,6
	с. Краснополье [Krasnopolye village]	43	2,6* (3,9)
	д. Лукьяновка [Lukyanovka village]	30	2,2
	д. Летник [Letnik village]	3	1,1
Бейский район Beyskiy district	с. Новотроицкое [Novotroitskoye village]	41	2,6* (4,8)
	с. Бея [Beya village]	17	0,97
	с. Кирба [Kirba village]	16	2,15
	с. Боград [Bograd village]	57	1,1
Боградский район [Bogradskiy district]	с. Бородино [Borodino village]	4	1,9
	с. Сарагаш [Sargash village]	6	1,38
	с. Первомайское [Pervomayskoye village]	10	1,19

Административная территория [Administrative territory]	Населенный пункт [Residential area]	Количество проб, ед. [Number of samples]	КУ [Control level]
Усть-Абаканский район Ust-Abakanskiy district	с. Московское [Moskovskoye village]	40	1,3
	с. Вершино – Биджа [Verшинino-Bidzha village]	33	0,8
	с. Зеленое [Zelenoye village]	26	1,4
	с. Солнечное [Solnechnoye village]	23	2,1
	с. Усть-Бюрь [Ust-Bur village]	5	2,03
Ширинский район [Shirinskiy district]	с. Ши́ра [Shira village]	47	0,6
	с. Целинное [Tselinnoye village]	11	0,99
	с. Джирим [Dzhirim village]	4	0,91

* КУ A_a рассчитан с учетом условия: сумма отношений УА ^{234}U , ^{238}U к соответствующим уровням вмешательства – не более 1,0.

[*Control level A_a is calculated based on the condition: sum of the ratios of the ^{234}U , ^{238}U activity concentrations to the corresponding action levels does not exceed 1,0]

воды источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения населения Республики по показателю A_a , выполняемых ежеквартально. Их превышение будет рассматриваться как сигнал о «негативном изменении радиационной обстановки», что может быть связано с увеличением значений удельных активностей ^{234}U , ^{238}U , либо появлением высокорadioтоксичных радионуклидов: ^{226}Ra , ^{210}Po , ^{228}Ra . Во всех этих случаях необходим детальный анализ радионуклидного состава питьевой воды с последующей оценкой соответствия (несоответствия) пробы нормам радиационной безопасности.

Заключение

По результатам ежегодного лабораторного мониторинга установлено превышение КУ A_a (0,2 Бк/кг) в воде источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения населения в Алтайском, Аскизском, Бейском, Богородском, Орджоникидзевском, Усть-Абаканском, Таштыпском, Ширинском районах, в городе Сорске, пгт Пригорске. В ряде населенных пунктов Республики суммы отношений удельных активностей природных радионуклидов к соответствующим уровням вмешательства превышают 1,0. Значения средних годовых индивидуальных эффективных доз внутреннего облучения населения за счет природных радионуклидов питьевой воды находятся на уровне или превышают 0,1 мЗв/год (значения в пределах 0,1–0,2 мЗв/год), в связи с чем не требуется безотлагательное проведение радиационно-защитных мероприятий.

При этом для оптимизации лабораторного контроля воды по показателям радиационной безопасности рассчитаны конкретные значения контрольных уровней для каждого из водоисточников. Рассчитанные значения ко-

леблются в пределах от 0,2 до 2,6 Бк/кг. Их превышение будет рассматриваться как сигнал о «негативном изменении радиационной обстановки», что может быть связано с увеличением значений удельных активностей ^{234}U , ^{238}U либо появлением высокорadioтоксичных радионуклидов: ^{226}Ra , ^{210}Po , ^{228}Ra . Во всех этих случаях необходим детальный анализ радионуклидного состава питьевой воды с последующей оценкой соответствия (несоответствия) пробы нормам радиационной безопасности.

Литература

1. Контрольные уровни ионизирующего излучения: Методические рекомендации / Ленинградский научно-исследовательский институт радиационной гигиены. – Ленинград, 1982. – 25с.
2. Нормы радиационной безопасности (НРБ 99/2009): СанПиН 2.6.1.2523-09 (утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 07 июля 2009 г. N 47). – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 101 с.
3. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2017 году: Государственный доклад. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2018. – 268 с.
4. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ 99/2010): СП 2.6.1.2612–10 (утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 26 апреля 2010 г. N 40). – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2010. – 38 с.
5. Пивоварова, Е.А. Радиационно-гигиеническая оценка источников хозяйственно-питьевого водоснабжения населения на территории Республики Хакасия / Е. А. Пивоварова, А. А. Пивоваров // Радиационная гигиена. – СПб., 2016. – Том.9, № 3. – С. 61–68.

6. Радиационный контроль и гигиеническая оценка источников питьевого водоснабжения и питьевой воды по показателям радиационной безопасности. Оптимизация защитных мероприятий источников питьевого водоснаб-

жения с повышенным содержанием радионуклидов: МУ 2.6.1.1981-05 (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ от 25.04.2005 г.). – М., 2005. – 32 с.

Поступила: 15.05.2019 г.

Пивоваров Анатолий Алексеевич – врач по общей гигиене Центра гигиены и эпидемиологии в Республике Хакасия Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. **Адрес для переписки:** 655017, РФ, Республика Хакасия, г. Абакан, ул. Ленина, д. 66; E-mail: aapiv@mail.ru

Пивоварова Елена Анатольевна – заместитель главного врача Центра гигиены и эпидемиологии в Республике Хакасия Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Абакан, Россия

Курганов Василий Евгеньевич – главный врач Центра гигиены и эпидемиологии в Республике Хакасия Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Абакан, Россия

Для цитирования: Пивоваров А.А., Пивоварова Е.А., Курганов В.Е. О разработке контрольных уровней удельной суммарной альфа-активности проб воды для ряда источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения в Республике Хакасия // Радиационная гигиена. – 2019. – Т. 12, № 2 (Спецвыпуск). – С. 121-128. DOI: 10.21514/1998-426X-2019-10-2s-121-128.

About development of control levels of specific total alpha-activity in water samples for a number of sources of the centralized economic and drinking water supply in the Republic of Khakassia

Anatoliy A. Pivovarov, Elena A. Pivovarova, Vasilii E. Kurganov

The Center for hygiene and epidemiology in the Republic of Khakassia, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Abakan, Russia

The aim of the work is to develop control levels of specific total alpha-activity of water samples for a number of sources of centralized drinking water supply in the Republic of Khakassia on the basis of the results of long-term laboratory studies. Materials and methods. The analysis is carried out on the basis of the results of laboratory studies of water sources of centralized drinking water supply of the population of the Republic of Khakassia, performed by accredited testing laboratories of institutions of the state sanitary and epidemiological service of the Republic for the period from 2001 to 2018, using alpha-beta radiometric, alpha-spectrometric methods with radiochemical preparation of counting samples, gamma-spectrometric method. The control levels of specific total alpha-activity of water samples from the sources of centralized drinking water supply in the Republic of Khakassia were established by the statistical maximum – the sum of the average value with a doubled standard deviation, with the volume of research more than 30, and the maximum value with the volume of research less than 30. Results. About half of the studied water samples from the sources of the centralized drinking water supply of the Republic of Khakassia, annually, are noted with exceeding the control level of specific total alpha-activity (0,2 Bq/kg). The values obtained in the studied samples vary up to 5,57 Bq/kg. During the observation period, samples of water exceeding the reference level of specific total alpha-activity (0.2 Bq/kg) were identified in settlements of the Altai, Askizsky, Beysky, Bogradsky, Ordzhonikidzevsky, Tashtypsky, Ust–Abakansky, Shira districts and the city of Sorsk, smt. Prigorsk (Chernogorsk). In previous studies, it was found that high levels of specific total alpha-activity in the country are mainly due to natural radionuclides uranium-238 (^{238}U), uranium-234 (^{234}U). In a number of settlements of the Republic, the sum of the ratio of specific activities of natural radionuclides to the corresponding levels of intervention exceeds 1,0. Average annual individual effective doses of internal exposure to natural radionuclides of drinking water, at or above 0,1 mSv/year (values in the range of 0,1–0,2 mSv/year), which does not require urgent radiation protection measures. At the same time, monitoring of indicators of radiation safety of water sources of water supply should be carried out in accordance with the established requirements. In this connection, in order to improve control, for the rapid assessment of the radiation situation and making timely decisions to

Anatoliy A. Pivovarov

The Center for hygiene and epidemiology in the Republic of Khakassia

Address for correspondence: 655017, Russia, Republic of Khakassia, Abakan, Lenina Street, 66; E-mail: aapiv@mail.ru

ensure radiation safety of the population, the calculation of control levels of specific total alpha-activity was carried out. As a result of calculations, specific values of control levels for each of water source were obtained. The calculated values range from 0,2 to 2,6 Bq/kg. Conclusion. The control levels are "site standards" and are calculated for each of the source of water supply. Their excess will be considered as a signal of "negative change" of the radiation situation", which may be associated with an increase of the specific activities of ^{234}U , ^{238}U , or the appearance of highly radiotoxic radionuclides: ^{226}Ra , ^{210}Po , ^{228}Ra .

Key words: water sources of household and drinking water supply, specific total alpha-activity, natural radionuclides, control level.

References

1. Control levels of ionizing exposure: methodical recommendations. Leningrad scientific-research institute of radiation hygiene, Leningrad, 1982, 25 p. (In Russian)
2. Norms of the radiation safety (NRB 99/2009): SanPiN 2.6.1.2523-09 (approved by the Decree on the Chief State Sanitary doctor of the Russian Federation 07.07.2009 No. 47) Moscow, Federal center of hygiene and epidemiology of Rospotrebnadzor, 2009, 101 p. (In Russian)
3. On the state of the sanitary-epidemiological well-being of the public in the Russian Federation in 2017: State report. Moscow, Federal service on surveillance of the consumers rights protection and human well-being, 2018, 268 p. (In Russian)
4. Basic sanitary rules of the provision of the radiation safety (OSPORB 99/2010): SP 2.6.1.2612-10 (approved by the Decree on the Chief State Sanitary doctor of the Russian Federation 26.04.2010 No.40). Moscow, Federal center of hygiene and epidemiology of Rospotrebnadzor, 2010, 38 p. (In Russian)
5. Pivovarova E.A., Pivovarov A.A. The Radiological Hygienic Assessment of the Sources of Utility and Drinking Water Supply for the Population of Khakassia Republic. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene. 2016;9(3):61-68. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2016-9-3-61-68>(In Russian)
6. Radiation control and hygienic assessment of the drinking water sources and drinking water on the criteria of the radiation safety. Optimization of the protective measures for the sources of drinking water with increased concentration of radionuclides: MU 2.6.1.1981-05 (approved by the Chief State Sanitary doctor of the Russian Federation 25.04.2005). Moscow, 2005, 32 p. (In Russian)

Received: May 15, 2019

For correspondence: Anatoliy A. Pivovarov – Common hygiene physician a doctor on General hygiene, The Center for hygiene and epidemiology in the Republic of Khakassia, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being (Lenina Street, 66, Abakan, Republic of Khakassia, 655017, Russia; E-mail: aapiv@mail.ru)

Elena A. Pivovarova – deputy chief medical officer, deputy chief physician, The Center for hygiene and epidemiology in the Republic of Khakassia, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Abakan, Russia

Vasiliy E. Kurganov – head physician, The Center for hygiene and epidemiology in the Republic of Khakassia, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Abakan, Russia

For citation: Pivovarov A.A., Pivovarova E.A., Kurganov V.E. About development of control levels of specific total alpha-activity of water samples for a number of sources of the centralized economic and drinking water supply in the Republic of Khakassia. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene, 2019, Vol. 12, No. 2 (special issue), pp. 121-128. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426x-2019-12-2s-121-128.

Правила для авторов журнала «Радиационная гигиена»

Научно-практический журнал «Радиационная гигиена» был основан в 2008 г. Журнал представляет собой издание научно-теоретической и практической ориентации, направленное на публикацию оригинальных исследований, экспериментальных, теоретических статей, обзоров, кратких сообщений, дискуссионных статей, отчетов о конференциях, рецензий на работы по актуальным вопросам радиационной гигиены, писем в редакцию, хроники событий научной жизни. Тематика журнала включает актуальные вопросы и достижения в области радиационной гигиены и санитарного надзора за радиационной безопасностью.

Полные тексты электронных версий статей представлены на сайте Научной электронной библиотеки www.elibrary.ru и официальном сайте журнала «Радиационная гигиена» www.radhyg.ru.

Журнал «Радиационная гигиена» входит в перечень российских рецензируемых научных журналов, рекомендованных ВАК РФ, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук. Работы для опубликования в журнале должны быть представлены в соответствии с данными требованиями:

1. Материалы, представляемые в статье, не должны быть ранее опубликованными в других печатных изданиях. Авторам следует информировать редакцию журнала о том, что какие-то части этих материалов уже опубликованы и могут рассматриваться как дублирующие. В таких случаях в новой статье должны быть ссылки на предыдущие работы. Копии таких материалов прилагаются к рукописи, чтобы редакция имела возможность принять решение, как поступить в данной ситуации. Не допускается направление статей, которые уже напечатаны в других изданиях или представлены для печати в другие издательства.

2. Редакция имеет право вести переговоры с авторами по уточнению, изменению, сокращению рукописи.

3. Редакция оставляет за собой право сокращать и редактировать представленные работы. Все статьи, поступающие в редакцию журнала, проходят рецензирование в соответствии с требованиями ВАК.

4. Статья должна сопровождаться официальным направлением учреждения, в котором выполнена данная работа. В официальном направлении должны быть перечислены фамилии всех авторов и указано название работы. Должно быть экспертное заключение об отсутствии ограничений на публикацию материала в открытой печати и виза научного руководителя на первой странице статьи. Статья должна быть подписана всеми авторами.

5. Рукописи авторам не возвращаются.

6. **Рукописи, оформленные не в соответствии с правилами, к публикации не допускаются.**

7. Объем обзорных статей не должен превышать 20 страниц машинописного текста. Оригинальных исследований, исторических статей – 15 страниц, исторических и дискуссионных статей – 10, отчетов о конференциях, кратких сообщений и заметок из практики – 5 страниц.

8. Текст статьи печатается на одной стороне листа формата А4 шрифтом Times New Roman кеглем 14, с межстрочным интервалом 1,5. Ориентация книжная (портрет) с полями слева – 2,5 см, сверху – 2 см, справа – 1,5 см, снизу – 2 см. Нумерация страниц – сверху в центре, первая страница без номера. Формат документа при отправке в редакцию – .doc или .docx.

9. Статьи следует присылать в редакцию в электронном виде по адресу: journal@niirg.ru в формате MS Word с приложением сканированных копий направительного письма и

первой страницы статьи с подписью всех авторов статьи в формате pdf. Печатный экземпляр рукописи, подписанный авторами, и оригинал направительного письма отсылается по почте в адрес редакции.

10. **Титульный лист** должен содержать:

- название статьи (оно должно быть кратким и информативным, не допускается использование сокращений и аббревиатур, а также торговых (коммерческих) названий приборов, медицинской аппаратуры и т.п.);

- фамилию и инициалы автора(ов);

- наименование учреждений, в которых работают авторы с указанием ведомственной принадлежности (Роспотребнадзор, Минздрав России, РАМН и т.п.), город, страна (префиксы учреждений, указывающие на форму собственности, статус организации (ГУ ВПО, ФГБУ, ФБУН и т.д.) не указываются);

- рядом с фамилией автора(ов) и названием учреждения цифрами в верхнем регистре обозначается, в каком учреждении работает каждый из авторов. Если все авторы работают в одном учреждении, указывать место работы каждого автора отдельно не нужно;

- вся информация предоставляется на русском и английском языках. Фамилии авторов нужно транслитерировать по системе BGN (Board of Geographic Names), представленной на сайте www.translit.ru. **Указывается официально принятый английский вариант наименования организаций!**

11. На отдельном листе указываются сведения об авторах: фамилия, имя, отчество (полностью) на русском языке и в транслитерации, ученая степень, ученое звание, должность в учреждении/учреждениях, рабочий адрес с почтовым индексом, рабочий телефон и адрес электронной почты всех авторов. Сокращения не допускаются.

12. После титульного листа размещается резюме статьи на русском и английском языках (объемом не менее 250 слов каждая). Резюме к оригинальной научной статье должно иметь следующую структуру: цель, материалы и методы, результаты, заключение. Все пишется сплошным текстом, без выделения абзацев. Для остальных статей (обзор, лекция, дискуссия) резюме должно включать краткое изложение основной концепции статьи, по сути краткое изложение самой статьи. **Резюме не должно содержать аббревиатур и сокращений, кроме общепринятых в мировой научной литературе.** Резюме является независимым от статьи источником информации для размещения в различных научных базах данных. **Обращаем особое внимание на качество английской версии резюме!** Оно будет опубликовано отдельно от основного текста статьи и должно быть понятным без ссылки на саму публикацию. В конце приводятся **ключевые слова или словосочетания на русском и английском языках** (не более 12) в порядке значимости. **Ключевые слова также не должны содержать аббревиатур и сокращений.**

13. Текст оригинального научного исследования должен состоять из введения и выделяемых заголовками разделов: «Введение», «Цель исследования», «Задачи исследования», «Материалы и методы», «Результаты и обсуждение», «Выводы» или «Заключение», «Литература».

В разделе «Материалы и методы» должны быть четко описаны методы и объекты исследования, источники и вид ионизирующего излучения, дозы, мощность дозы, условия облучения и т.д.

В разделе «Материалы и методы» должны быть четко описаны методы и объекты исследования, источники и вид ионизирующего излучения, дозы, мощность дозы, условия облучения и т.д.

14. Если в статье имеется описание наблюдений на человеке, не используйте фамилии, инициалы больных или номера историй болезни, особенно на рисунках или фотографиях. При изложении экспериментов на животных укажите, соответствовало ли содержание и использование лабораторных животных правилам, принятым в учреждении, рекомендациям национального совета по исследованиям, национальным законам.

15. Все радиационные единицы следует приводить в международной системе единиц измерения (СИ) (см.: ГОСТ – 8.417 – 81 ГСИ. Единицы физических величин»; В.И. Иванов В.П. Машкович, Э.М. Центер. Международная система единиц (СИ) в атомной науке и технике: Справочное руководство. М.: Энергоиздат, 1981. 200 с.). Все результаты измерений, приводимых в статье, должны быть выражены только в системе СИ.

16. При описании методики исследования можно ограничиться указанием на существо применяемого метода со ссылкой на источник заимствования, в случае модификации – указать, в чем конкретно она заключается. Оригинальный метод должен быть описан полностью.

17. При первом упоминании терминов, неоднократно используемых в статье (однако не в заголовке статьи и не в резюме), необходимо давать их полное наименование и сокращение в скобках, в последующем применять только сокращение, однако их применение должно быть сведено к минимуму. Сокращение проводится по ключевым буквам слов в русском написании, например: источник ионизирующего излучения (ИИИ) и т. д. Тип приборов, установок следует вводить на языке оригинала, в кавычках; с указанием (в скобках) страны-производителя. Например: использовали спектрофотометр «СФ-16» (Россия), спектрофлуориметр фирмы «Hitachi» (Япония). Малоупотребительные и узкоспециальные термины также должны быть расшифрованы.

18. Таблицы должны содержать только необходимые данные и представлять собой обобщенные и статистически обработанные материалы. Каждая таблица снабжается заголовком и вставляется в текст сразу после ссылки на нее.

19. Иллюстрации должны быть четкие, контрастные. Цифровые версии иллюстраций должны быть сохранены в отдельных файлах в формате Tiff, с разрешением 300 dpi и последовательно пронумерованы. Подрисовочные подписи должны быть размещены в основном тексте. Перед каждым рисунком, диаграммой или таблицей в тексте обязательно должна быть ссылка. В подписях к микрофотографиям, электронным микрофотографиям обязательно следует указывать метод окраски и обозначать масштабный отрезок. Диаграммы должны быть представлены в исходных файлах. Рисунки (диаграммы, графики) должны иметь подпись всех осей с указанием единиц измерения СИ. Легенда выносится за пределы рисунка.

20. Необходимо оформлять подписи к рисункам и таблицам, тексты внутри них на русском и на английском языках.

21. **Библиографические ссылки** в тексте должны даваться цифрами в квадратных скобках в соответствии со списком литературы в конце статьи.

Пример: В тексте: Общий список справочников по терминологии, охватывающий время не позднее середины XX века, даёт работа библиографа И.М. Кауфмана [59].

Если авторы не указаны, в отсылке указывают название документа, при необходимости указывают год издания, страницы.

Сведения в отсылке разделяют точкой и запятой.

Нумеруйте ссылки последовательно, в порядке их первого упоминания в тексте (не по алфавиту)! Для оригинальных научных статей – не менее 15–20 источников, для лекций и обзоров – не более 60 источников, для других статей – не более 15 источников.

22. К статье прилагаются на отдельном листе **два списка литературы.**

23. **В первом списке литературы (Литература)** библиографическое описание литературных источников должно соответствовать требованиям ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание документа. Общие требования и правила составления».

Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

24. **В списке литературы не следует указывать постановления, законы, санитарные нормы и правила, другие нормативно-методические документы.** Указания на них следует размещать в сносках или внутритекстовых ссылках. Сноски и внутритекстовые ссылки следует представить и на английском языке, написав после английского описания язык текста (In Russ.).

Примеры внутритекстовых ссылок:

.....согласно Норм радиационной безопасности (НРБ 99/2009): (СанПиН 2.6.1.2523 – 09) [перевод на английский язык (In Russ.)] . Илисогласно ГОСТ Р 517721-2001. Аппаратура радиоэлектронная бытовая. Входные и выходные параметры и типы соединений. Технические требования [перевод на английский язык (In Russ.)].

ПРИМЕРЫ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИХ ССЫЛОК **Литература** (выравнивание по левому краю)

Книги и брошюры:

Один – три автора:

Сергеев, И.В. Лучевая диагностика в России / И.В. Сергеев, Т.П. Смирнова, М.Н. Исаков. – СПб.: НИИРГ, 2007. – 123 с.

Пять и более авторов:

Сергеев, И.В. Лучевая диагностика в России : учеб. пособие для вузов / И.В. Сергеев [и др.]. – СПб.: Норма, 2007. – 123 с.

Многотомные издания или на часть книги:

Пивинский, Ю.Е. Общие вопросы технологии / Ю.Е. Пивинский // Неформальные огнеупоры. – М., 2003. – Т. 1, кн. 1. – С. 430–447.

Глава или раздел из книги:

Зайчик, А.Ш. Основы общей патофизиологии / А.Ш. Зайчик, Л.П. Чурилов // Основы общей патологии: учеб. пособие для студентов медвузов. – СПб.: ЭЛБИ, 1999. – Ч. 1., гл. 2. – С. 124–169.

Книги на английском языке:

Jenkins PF. Making sense of the chest x-ray: a hands-on guide. New York: Oxford University Press; c 2005. 194 p.

Iverson C, Flanagan A, Fontanarosa PB, et al. American Medical Association manual of style. 9th ed. Baltimore (MD): Williams & Wilkins; c 1998. 660 p.

Глава или раздел из книги на английском языке:

Riffenburgh RH. Statistics in medicine. 2nd ed. Amsterdam (Netherlands): Elsevier Academic Press; c 2006. Chapter 24, Regression and correlation methods; p. 447–86.

Ettinger SJ, Feldman EC. Textbook of veterinary medicine: diseases of the dog and cat. 6th ed. St. Louis (MO): Elsevier Saunders; c2005. Section 7, Dietary considerations of systemic problems; p. 553–98.

Статьи из журнала, сборника:

Из журнала:

Стамат, И.П. К обоснованию нормативов по содержанию природных радионуклидов в облицовочных изделиях и материалах / И.П. Стамат, Д.И. Стамат // Радиационная гигиена. – 2009. – Т. 2, № 1. – С. 46–52.

Из журнала на английском языке:

Axelsson, O. Indoor radon exposure and active and passive smoking relation to the occurrence of lung cancer / O. Axelsson [et al.] // Scand. J. Work, Environ and Health. – 1988. – Vol. 14, N 5. – P. 286–292.

Petitti DB, Crooks VC, Buckwalter JG, Chiu V. Blood pressure levels before dementia. Arch Neurol. 2005 Jan; 62(1):112-6.

Rastan S, Hough T, Kierman A, et al. Towards a mutant map of the mouse--new models of neurological, behavioural, deafness, bone, renal and blood disorders. Genetica. 2004 Sep;122(1):47-9.

Из сборника конференций (тезисы):

Кушинников, С.И. Проблемы достоверности оценки среднегодовой ЭРОА радона при радиационно-гигиеническом обследовании помещений / С.И. Кушинников, А.А. Цапалов // Сборник докладов и тезисов научно-практической конференции «Актуальные вопросы обеспечения радиационной безопасности на территории Российской Федерации», Москва, 25-26 октября 2007 г. – М., 2007. – С. 50-51.

Из сборника конференций (тезисы) на английском языке:

Arendt T. Alzheimer's disease as a disorder of dynamic brain self-organization. In: van Pelt J, Kamermans M, Levelt CN, van Ooyen A, Ramakers GJ, Roelfsema PR, editors. Development, dynamics, and pathology of neuronal networks: from molecules to functional circuits. Proceedings of the 23rd International Summer School of Brain Research; 2003 Aug 25-29; Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences, Amsterdam, the Netherlands. Amsterdam (Netherlands): Elsevier; 2005. P. 355-78.

Rice AS, Farquhar-Smith WP, Bridges D, Brooks JW. Cannabinoids and pain. In: Dostorovsky JO, Carr DB, Koltzenburg M, editors. Proceedings of the 10th World Congress on Pain; 2002 Aug 17-22; San Diego, CA. Seattle (WA): IASP Press; c 2003. P. 437-68.

Ссылки на Интернет-ресурсы:

Официальный сайт Медицинского радиологического научно-го центра РАМН (МРНЦ РАМН): <http://www.mrrc.obninsk.gi/> (дата обращения: 19.02.2010 г.).

Complementary/Integrative Medicine [Internet]. Houston: University of Texas, M. D. Anderson Cancer Center; c2007 [cited 2007 Feb 21]. Available from: <http://www.mdanderson.org/departments/CIMER/>.

Hooper JF. Psychiatry & the Law: Forensic Psychiatric Resource Page [Internet]. Tuscaloosa (AL): University of Alabama, Department of Psychiatry and Neurology; 1999 Jan 1 [updated 2006 Jul 8; cited 2007 Feb 23]. Available from: <http://bama.ua.edu/~jhooper/>.

Polgreen PM, Diekema DJ, Vandenberg J, Wiblin RT, Chen YY, David S, Rasmus D, Gerdtz N, Ross A, Katz L, Herwaldt LA. Risk factors for groin wound infection after femoral artery catheterization: a case-control study. Infect Control Hosp Epidemiol [Internet]. 2006 Jan [cited 2007 Jan 5];27(1):34-7. Available from: <http://www.journals.uchicago.edu/ICHE/journal/issues/v27n1/2004069/2004069.web.pdf>

Richardson ML. Approaches to differential diagnosis in musculoskeletal imaging [Internet]. Version 2.0. Seattle (WA): University of Washington School of Medicine; c2000 [revised 2001 Oct 1; cited 2006 Nov 1]. Available from: <http://www.rad.washington.edu/mskbook/index.html>

Статьи, принятые к печати:

Горский, Г.А. О необходимости радиационного обследования зданий после окончания строительства, капитального ремонта или реконструкции / Г.А. Горский, А.В. Еремин, И.П. Стамат // Радиационная гигиена. – 2010. – Т. 3, № 1. – Деп. 10.02.2010 г.

Патенты:

Пат. № 2268031 Российская Федерация, МПК А61Н23.00. Способ коррекции отдаленных последствий радиационного воздействия в малых дозах / Карамуллин М.А., Шутко А.Н., Сосюкин А.Е. и др.; опубл. 20.01.2006, БИ № 02.

Патенты на английском языке:

Cho ST, inventor; Hospira, Inc., assignee. Microneedles for minimally invasive drug delivery. United States patent US 6,980,855. 2005 Dec 27.

Poole I, Bissell AJ, inventors; Voxar Limited, assignee. Classifying voxels in a medical image. United Kingdom patent GB 2 416 944. 2006 Feb 8. 39 p.

Из газеты:

Фомин, Н.Ф. Выдающийся ученый, педагог, воспитатель / Н.Ф. Фомин, Ф.А. Иванович, Е.И. Веселов // Воен. врач. – 1996. – № 8 (1332). – С. 5.

Фомин, Н.Ф. Выдающийся ученый, педагог, воспитатель / Н.Ф. Фомин, Ф.А. Иванович, Е.И. Веселов // Воен. врач. – 1996. – 5 сент.

Диссертация и автореферат диссертации:

Фенухин, В.И. Этнополитические конфликты в современной России: на примере Северо-Кавказского региона : дис... канд. полит. наук: защищена 22.01.02 : утв. 15.07.02. / Фенухин В.И. – М., 2002. – 215 с. – 04200201565.

Кадука, М.В. Роль грибов в формировании дозы внутреннего облучения населения после аварии на Чернобыльской АЭС : автореф. дисс. ... канд. биол. наук / Кадука М.В. – Обнинск, 2001. – 23 с.

Диссертация и автореферат диссертации на английском языке:

Jones DL. The role of physical activity on the need for revision total knee arthroplasty in individuals with osteoarthritis of the knee [dissertation]. [Pittsburgh (PA)]: University of Pittsburgh; 2001. 436 p.

Roguskie JM. The role of Pseudomonas aeruginosa 1244 pilin glycan in virulence [master's thesis].

23. Второй список литературы (References) полностью соответствует первому списку литературы. При этом в библиографических источниках на русском языке фамилии и инициалы авторов, а также название журнала и издания должны быть транслитерированы. Название работы (если требуется) переводится на английский язык и/или транслитерируется. Иностранные библиографические источники из первого списка полностью повторяются во втором списке. Более подробно правила представления литературных источников во втором списке представлены ниже.

Примеры:

Книги (фамилия и инициалы автора транслитерируются, название, место издания и название издательства переводится на английский язык)

Lobzin Yu.V., Uskov A.N., Yushchuk N.D. Ixodes tick-borne borreliosis (etiology, epidemiology, clinical manifestations, diagnosis, treatment and prevention): Guidelines for Physicians. Moscow; 2007 (in Russian).

Из журналов (фамилия и инициалы автора транслитерируются, название статьи не приводится, название журнала транслитерируется)

Kondrashin A.V. Meditsinskaya parazitologiya i parazitarnyye bolezni. 2012; 3: 61-3 (in Russian).

Диссертация (фамилия и инициалы автора транслитерируются, название диссертации транслитерируется, дается перевод названия на английский язык, выходные данные транслитерируются)

Popov A.F. Tropicheskaya malyariya u neimunnykh lits (diagnostika, patogenez, lecheniye, profilaktika) [Tropical malaria in non-immune individuals (diagnosis, pathogenesis, treatment, prevention)] [dissertation]. Moscow (Russia): Sechenov Moscow Medical Academy; 2000. 236 p (in Russian).

Патенты (фамилия и инициалы авторов, название транслитерируются)

Bazhenov A.N., Ilyushina L.V., Plesovskaya I.V., inventors; Bazhenov AN, Ilyushina LV, Plesovskaya IV, assignee. Metodika lecheniia pri revmatoidnom artrite. Russian Federation patent RU 2268734; 2006 Jan 27 (in Russian).

Из сборника конференций (тезисы) (фамилия и инициалы автора транслитерируются, название тезисов транслитерируется и дается перевод названия на английский язык, выходные данные конференции транслитерируются и дается перевод названия на английский язык)

Kiryushenkova VV, Kiryushenkova SV, Khramov MM, et al. Mikrobiologicheskii monitoring vzbuditeley ostrykh kishhechnykh infektsiy u vzroslykh g. Smolenska [Microbiological monitoring of pathogens of acute intestinal infections in adults in Smolensk]. In: Materialy mezhdunarodnogo Yevro-aziatskogo kongressa po infektsionnym boleznyam [International Euro-Asian Congress on Infectious Diseases]. Vol. 1. Vitebsk; 2008. P. 53. (in Russian).

Boetsch G. Le temps du malheur: les representations artistiques de l'epidemie. [Tragic times: artistic representations of the epidemic]. In: Guerici A, editor. La cura delle malattie:

itinerari storici [Treating illnesses: historical routes]. 3rd Colloquio Europeo di Etnofarmacologia; 1st Conferenza Internazionale di Antropologia e Storia della Salute e delle Malattie [3rd European Colloquium on Ethnopharmacology; 1st International Conference on Anthropology and History of Health and Disease]; 1996 May 29-Jun 2; Genoa, Italy. Genoa (Italy): Erga Edizione; 1998. P. 22-32. (in French).

Ответственность за правильность изложения библиографических данных возлагается на автора.

Все статьи печатаются в журнале бесплатно.

Статьи направляются по адресу: 197101, г. Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8, ФБУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В.Рамзаева». Редакция журнала «Радиационная гигиена» и по e-mail: journal@niirg.ru.

Справки по телефону: (812) 233-42-83 и (812) 233-50-16 (редакция журнала «Радиационная гигиена»). Факс: (812) 233-53-63, 233-42-83.