

Н.К. Шандала, А.С. Самойлов, В.А. Серегин, С.М. Киселёв, Ю.Е. Квачева,
Е.Г. Метляев, О.А. Кочетков, В.Н. Клочков, А.В. Титов, А.Е. Колышкин, М.П. Семенова

РОЛЬ РАДИАЦИОННОЙ ГИГИЕНЫ В ОБЕСПЕЧЕНИИ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ И БЕЗОПАСНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ И ПЕРСОНАЛА НА ПРИМЕРЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ФГБУ ГНЦ ФМБЦ ИМ. А.И. БУРНАЗЯНА ФМБА РОССИИ

Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва

Контактное лицо: Наталия Константиновна Шандала, e-mail: nshandala@gmail.com

РЕФЕРАТ

Цель: Показать роль радиационной гигиены в обеспечении радиационной защиты и безопасности: а) населения, проживающего вблизи действующих, выводимых из эксплуатации и реабилитируемых радиационно опасных объектов; б) персонала предприятий атомной отрасли на основании собственных инновационных разработок.

Материал и методы: Объектами исследования послужили радиационно-опасные объекты на разных стадиях жизненного цикла (функционирующие, выводимые из эксплуатации, реабилитируемые), территории ядерного и уранового наследия, где были отобраны пробы объектов окружающей природной и морской среды (вода, почва, растительность, водоросли, донные отложения), а также местных пищевых продуктов и питьевой воды. Отобранные пробы были исследованы с использованием дозиметрических, радиометрических, гамма-спектрометрических и радиохимических методов. При изучении состояния здоровья населения, проживающего в регионах указанных объектов, использовали методы радиационной эпидемиологии, дополненные собственной инновационной разработкой оценки здоровья.

Результаты: Проведенные многолетние исследования позволили не только охарактеризовать изучаемые объекты и территории, но и выявить особенности пространственно-временного распределения радиоактивных веществ, в том числе на территориях ядерного наследия. Обнаружено наличие больших объемов техногенно загрязненных почв, которые по уровню активности в ряде случаев относятся к категории радиоактивных отходов. Показано, что техногенное загрязнение распространяется в грунтовые и подземные воды, а также на локальные участки прибрежной морской акватории. Результаты мониторинга здоровья населения позволяют констатировать безопасную работу радиационно-опасных объектов на территории России. Для сопровождения радиационной безопасности персонала создано пять инновационных аппаратно-методических и дозиметрических комплексов.

Заключение: Созданная трудами нескольких поколений ученых ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России наука о радиационной безопасности – радиационная гигиена в настоящее время позволяет обеспечить полный цикл медико-гигиенической безопасности персонала, работающего на объектах атомной отрасли, и населения, проживающего в зоне влияния этих объектов – от научной разработки до внедрения её в практику. Реализуемый в ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России междисциплинарный подход позволяет комплексно решать сложные проблемы радиационной безопасности населения и персонала.

Ключевые слова: радиационная гигиена, радиационно-гигиенический мониторинг, радиационная безопасность населения и персонала, радиоэкологическое обследование, оценка состояния здоровья, регулирование, комплексный подход, ФМБЦ им. А.И. Бурназяна

Для цитирования: Шандала Н.К., Самойлов А.С., Серегин В.А., Киселёв С.М., Квачева Ю.Е., Метляев Е.Г., Кочетков О.А., Клочков В.Н., Титов А.В., Колышкин А.Е., Семенова М.П. Роль радиационной гигиены в обеспечении радиационной защиты и безопасности населения и персонала на примере деятельности ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2025. Т. 70. № 3. С. 34–47. DOI:10.33266/1024-6177-2025-70-3-34-47

N.K. Shandala, A.S. Samoylov, V.A. Seregin, S.M. Kiselev, Yu.E. Kvacheva,
E.G. Metlyaev, O.A. Kochetkov, V.N. Klochkov, A.V. Titov, A.E. Kolyshkin, M.P. Semenova

Radiation Health Physics to Assure Radiation Safety and Protection of the Public and Personnel: Case Study of the SRC-FMBC

A.I. Burnazyan Federal Medical Biophysical Center, Moscow, Russia

Contact person: N.K. Shandala, e-mail: nshandala@gmail.com

ABSTRACT

Purpose: To describe, based on our original innovative developments, the role of radiation health physics in assuring radiation safety and protection of a) the public living near operating, decommissioned and remediated radiation hazardous facilities and sites; and b) nuclear workers.

Material and methods: The objects of the study included radiation hazardous facilities at different stages of the life cycle (operating, decommissioned, remediated), nuclear and uranium legacy sites, where samples of environmental and marine media (water, soil, vegetation, algae, bottom sediments) were collected, as well as local foodstuffs and drinking water. The samples were examined using dosimetric, radiometric, gamma-spectrometric and radiochemical methods. When studying the health status of the public living in the vicinity of these facilities, methods of radiation epidemiology were used, supplemented by our original innovative development of the health assessment.

Results: The conducted long-term studies allowed not only characterizing the facilities and sites under study, but also identification the features of the spatial and temporal distribution of radioactive materials including at the nuclear legacy sites. The presence of large volumes of artificially contaminated soils has been detected, which in some cases are classified as radioactive waste in terms of their activity values. It has been shown that man-made contamination spreads into ground waters as well as into local areas of coastal marine waters. The results

of public health monitoring allow us to state that radiation hazardous facilities in Russia are operating safely. Five innovative hardware, methodological and dosimetric complexes have been created to support radiation safety of workers.

Conclusions: The radiation health physics is the radiation safety science developed by some generations of scientists and professionals of the SRC-FMBC. Today, this science helps to support the whole cycle of medical and health physics safety of nuclear workers and the public living in the areas affected by nuclear facilities – from the science based development to its implementation in practice. The interdisciplinary approach implemented in the SRC-FMBC helps to comprehensively solve many difficult tasks of radiation safety and protection of the public and workers.

Keywords: radiation health physics, radiation health physics monitoring, radiation safety and protection of public and workers, radioecological survey, health state assessment, regulation, comprehensive approach, A.I. Burnazyan FMBC

For citation: Shandala NK, Samoylov AS, Seregin VA, Kiselev SM, Kvacheva YuE, Metlyaev EG, Kochetkov OA, Klochkov VN, Titov AV, Kolyshkin AE, Semenova MP. Radiation Health Physics to Assure Radiation Safety and Protection of the Public and Personnel: Case Study of the SRC-FMBC. Medical Radiology and Radiation Safety. 2025;70(3):34–47. (In Russian). DOI:10.33266/1024-6177-2025-70-3-34-47

Введение

Наука радиационная гигиена родилась вслед за созданием атомной промышленности в конце сороковых годов прошлого столетия. Институт биофизики Минздрава СССР послужил колыбелью, в которой была возвращена эта новая наука – радиационная гигиена, призванная обеспечить радиационную безопасность в мире, насыщенном ядерным оружием, атомной энергетикой, радиоактивными отходами, техногенными источниками излучений в медицине, науке, промышленности и других сферах деятельности.

Цель: Показать роль радиационной гигиены в обеспечении радиационной защиты и безопасности: а) населения, проживающего вблизи действующих, выводимых из эксплуатации и реабилитируемых радиационно-опасных объектов; б) персонала предприятий атомной отрасли на основании собственных инновационных разработок.

Задачи исследования:

1. Охарактеризовать основные этапы становления радиационной коммунальной и промышленной гигиены.
2. Изложить современную методологию радиационно-гигиенических исследований, используемую в области обеспечения радиационной безопасности населения.
3. Представить основные научные результаты последних десятилетий в области коммунальной радиационной гигиены, защиты окружающей среды и мониторинга здоровья населения, а также инновационные разработки по промышленной радиационной гигиене.
4. Показать роль и значение для развития радиационной гигиены проблемы ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС.
5. Оценить дозы облучения персонала и населения, а также современное состояние регулирующей базы в области радиационной безопасности.

6. Обсудить новые, перспективные направления развития радиационной гигиены.

Становление радиационной гигиены

Научно-практическое и методическое обеспечение радиационной безопасности персонала предприятий атомной отрасли и населения нашей страны является приоритетным направлением деятельности ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России (далее – ФМБЦ им. А.И. Бурназяна) с момента основания и до настоящего времени. В 1954 г. была образована первая лаборатория радиационной коммунальной гигиены под руководством д.м.н. Мареев А.Н. Главной задачей этой лаборатории являлась разработка методологии санитарного надзора в районах размещения предприятий атомной энергетики и промышленности. Пионерскими исследованиями в этот период стали работы, связанные с проведением испытательных ядерных взрывов на атомных полигонах СССР, при пуске атомных ледоколов, атомных подводных лодок и работы по снятию «нулевого фона» на всех первых строящихся в СССР атомных станциях [1]. В дальнейшем сформировались новые научные подразделения, занимающиеся вопросами:

- изучения радиационной обстановки вокруг предприятий (д.м.н. Сауров М.М., к.м.н. Зыкова А.С.);
- оценки доз облучения населения за счёт всех источников ионизирующего излучения с внедрением эксперимента в гигиену (д.м.н. Книжников В.А.);
- создания новых радиохимических методик определения ряда радионуклидов в объектах окружающей среды (к.б.н. Новикова Н.Я.).

На рис. 1 показаны основные этапы становления радиационной коммунальной гигиены в период 1954–2002 гг.



Рис. 1. Становление радиационной коммунальной гигиены
Fig. 1. Formation of radiation public health physics

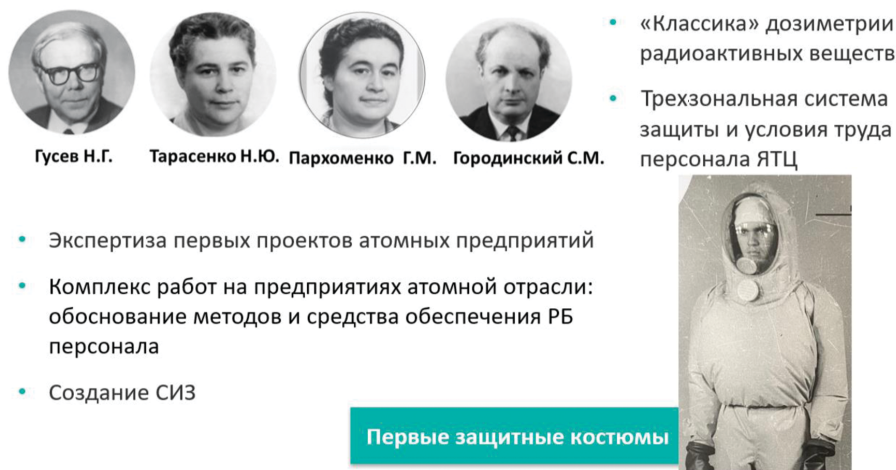


Рис. 2. Становление промышленной радиационной гигиены
Fig. 2. Formation of radiation occupational health physics

На рис. 2 показаны основоположники и этапы становления промышленной радиационной гигиены. Первыми специалистами в области промышленной радиационной гигиены проведен огромный комплекс работ на предприятиях атомной отрасли с гигиеническим обоснованием работы персонала в условиях воздействия радиации. Уже в первые годы становления атомной промышленности были решены кардинальные проблемы радиационной безопасности:

- классические работы по дозиметрии радиоактивных веществ (д.т.н. Гусев Н.Г.);
- трехзональная система защиты (д.м.н. Пархоменко Г.М.);
- экспертиза первых проектов ядерного топливного цикла (чл.-корр. АМН СССР, д.м.н. Тарасенко Н.Ю., к.м.н. Саяпина Р.Я.);
- разработка и создание средств индивидуальной защиты (д.м.н. Городинский С.М.).

Современная методология радиационной гигиены

Сегодня эстафету обеспечения радиационной безопасности принял коллектив ФМБЦ им. А.И. Бурназяна, создающий современную методологию радиационно-гигиенических исследований. Исследования реализуются на междисциплинарной основе учеными разных специальностей: гигиенистами и санитарными врачами,

биологами, физиками, химиками, математиками. В основе современной технологии санитарно-эпидемиологического надзора и нормирования, а также основополагающей системы осуществления научных исследований в области радиационной гигиены лежит радиационно-гигиенический мониторинг (РГМ), понятие которого было введено в практику обеспечения радиационной безопасности в начале 2000-х годов [2].

Современная методология радиационно-гигиенических исследований, представленная на рис. 3 и используемая в работах по обеспечению радиационной безопасности населения, охватывает объекты и территории всех звеньев ядерного топливного цикла России. Такие исследования включают в себя оценку окружающей среды и оценку здоровья населения. Для оценки радиоактивности окружающей среды решаются задачи получения в динамике достаточной и достоверной информации об интенсивности ионизирующего излучения на территориях и о содержании радионуклидов в различных объектах окружающей среды, а также в местных пищевых продуктах и питьевой воде. Используемые методы: радиационно-гигиенический в натурных исследованиях, радиометрический, спектрометрический, радиохимический, санитарно-эпидемиологический надзор, включая разработку регулирующих документов системы санитарного надзора и нормирования.

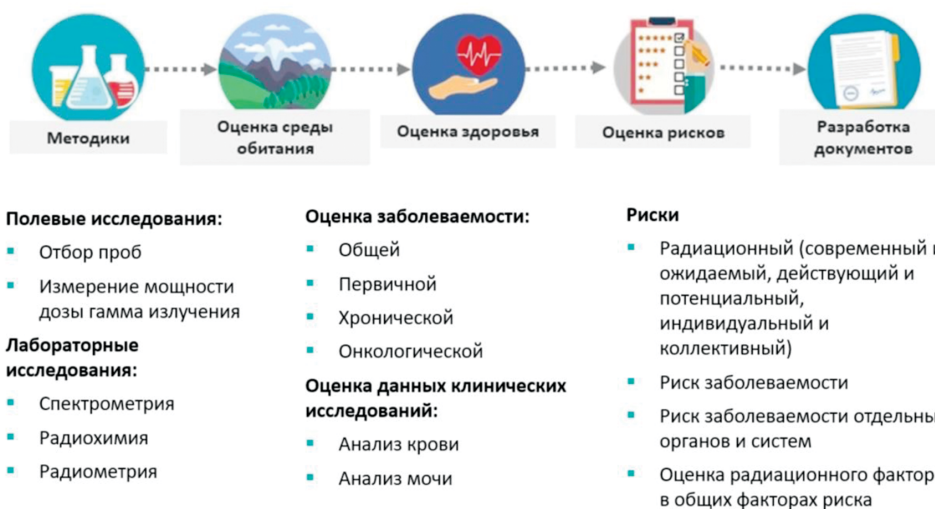


Рис. 3. Методы радиационно-гигиенического мониторинга
Fig.3. Methods of radiation health physics monitoring

Научные результаты в области коммунальной радиационной гигиены и защиты окружающей среды

Сегодня следующие направления научных исследований в области радиационной коммунальной гигиены являются приоритетными:

- РГМ и гигиеническое нормирование;
- мониторинг состояния здоровья населения, проживающего в районе размещения радиационно-опасных объектов;
- нормативно-методическое обеспечение радиационной безопасности населения;
- экспертная деятельность в области медицинской ядерной криминалистики.

Исследовательские гигиенические работы нацелены на совершенствование эколого-гигиенических основ радиационной защиты и безопасности населения, проживающего на территориях, обслуживаемых ФМБА России. География исследовательских работ в области радиационной безопасности населения, представленная на рис. 4, охватывает регионы Дальнего Востока, Камчатки, Забайкалья, Ставропольского края, Северо-Запада России и Заполярья. В рамках международного сотрудничества со странами СНГ выполняются также исследования на территориях государств Центральной Азии (Киргизии и Таджикистана), подвергшихся воздействию уранодобывающих производств.



Рис. 4. География работ и объекты исследований в области радиационной коммунальной гигиены

Fig. 4. Geography of works and objects of research in the field of radiation public health physics

В Основах государственной политики в области ядерной и радиационной безопасности констатируется, что в Российской Федерации обеспечивается ядерная и радиационная безопасность не только функционирующих объектов использования атомной энергии, но и объектов ядерного наследия, то есть тех военных и гражданских объектов, которые были созданы до установления современных требований к обеспечению ядерной и радиационной безопасности [Указ Президента РФ от 13 октября 2018 г. № 585 “Об утверждении Основ государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации на период до 2025 г. и дальнейшую перспективу”]. В связи с этим важно совершенствовать научные основы отечественной регулирующей базы обеспечения радиационной защиты населения на территориях расположения объектов наследия. Поэтому на протяжении последних десятилетий ФМБЦ им. А.И. Бурназяна проводил комплекс исследо-

ваний на территориях ядерного и уранового наследия России. Эти территории сформировались в результате прошлой ядерной, в том числе военной, деятельности.

Наглядный пример, позволяющий оценить масштабы и основные результаты работы в области РГМ, – реабилитация бывших береговых технических баз Военно-морского флота России. Базы были созданы в 60-е годы в Северо-Западном и Дальневосточном регионах России для обслуживания атомных подводных лодок для осуществления приема и хранения радиоактивных отходов (РАО) и отработавшего ядерного топлива (ОЯТ).

Начиная с 2003 г. и по настоящее время нами выполняются исследования на одном из крупнейших объектов ядерного наследия – пункте временного хранения (ПВХ) ОЯТ и РАО в губе Андреева и поселке Гремиха на побережье Баренцева моря. Кроме того, проведен комплекс работ в регионах размещения судоремонтных заводов и предприятий, осуществляющих утилизацию атомных подводных лодок, судов атомного технологического обслуживания и кораблей с ядерно-энергетическими установками. С 2009 г. проводились работы на дальневосточном ПВХ ОЯТ и РАО в бухте Сысоева и на ПВХ в бухте Разбойник на Камчатке [3, 4].

Подобные многолетние исследования позволяют не только охарактеризовать объекты и территории ядерного наследия, но и выявить особенности пространственно-временного распределения радиоактивных веществ. Согласно результатам исследований выявлено:

- наличие больших объемов техногенно загрязненных почв, которые по уровню активности в ряде случаев относятся к категории РАО;
- основные радионуклиды – ^{90}Sr и ^{137}Cs – распределены в окружающей среде (включая морскую акваторию) локально в результате миграции из хранилищ ОЯТ и РАО. При этом техногенное загрязнение распространяется в грунтовые и подземные воды, а также на локальные участки прибрежной морской акватории;
- удельная активность ^{137}Cs и ^{90}Sr в подземной воде из скважин значительно превышает установленные нормативы для питьевой воды – уровни вмешательства. При этом в воде из подземных скважин зафиксировано превышение ПДК ряда тяжелых металлов 1 и 2 класса опасности.

Исследования на территориях и объектах уранового наследия в России и государствах Центральной Азии ведутся ФМБЦ им. А.И. Бурназяна с 2000-х годов до настоящего времени. В ходе исследований на территориях Приаргунского производственного горно-химического объединения им. Е.П. Славского в Забайкалье, выведенного из эксплуатации ЛПО «Алмаз» в г. Лермонтове Ставропольского края [5] и в районе бывших урановых рудников в Калмыкии получена информация о загрязнении всех объектов окружающей среды, источников водоснабжения, местных пищевых продуктов; изучена эквивалентная равновесная объемная активность радона и оценены дозы облучения населения. Полученные результаты явились основанием для переселения людей из п. Октябрьский в г. Краснокаменск и проведения реабилитационных работ в районах штолен на горах Кавказского хребта – Бештау и Бык. Исследования на территориях уранового наследия проводились также в странах Центральной Азии (Киргизия и Республика Таджикистан) [6]. Проведенные исследования позволили сформулировать рекомендации по совершенствованию системы социально-гигиенического мониторинга, а также разработать критерии реабилитации территорий предприятий по добыче урановых руд.

Ядерное наследие

- Большие объемы техногенно загрязненных почв
- ^{90}Sr и ^{137}Cs распределены локально в результате миграции из хранилищ ОЯТ и РАО
- Активность ^{137}Cs и ^{90}Sr в подземной воде из скважин значительно превышает нормативы, превышены ПДК тяжелых металлов



Урановое наследие

- Изучено радиоактивное загрязнение объектов среды, ЭРОА радона и оценены дозы облучения населения
- Переселение посёлка Октябрьский и реабилитация штолен
- Разработаны критерии и нормативы реабилитации территорий предприятий по добыче урановых руд

Рис. 5. Результаты радиационно-гигиенического мониторинга на объектах ядерного и уранового наследия
Fig. 5. Results of radiation health physics monitoring at nuclear and uranium legacy sites

На рис. 5 обобщены результаты РГМ, проводимого на объектах ядерного и уранового наследия.

Учитывая активное присутствие человека в Арктической зоне, а также увеличение грузооборота по Северному морскому пути, возрастает внимание к радиационной обстановке и радиологическим проблемам, которые присутствуют в регионе. В 2020–2022 гг. проведены работы по мониторингу радиационной обстановки на территориях проживания населения, ближайших к местам затопления ядерно- и радиационно-опасных объектов в Карском и Баренцевом морях Арктики – село Териберка, остров Кильдин и поселок Амдерма [7].

Указанные работы были направлены на оценку состояния защищенности населения на всех этапах реализации основных работ по обращению с затопленными ядерно- и радиационно-опасными объектами. По результатам исследований получены «фоновые» показатели радиационно-гигиенической обстановки до начала работ по подъему затопленных объектов, что позволит в дальнейшем оценить последствия планируемых реабилитационных мероприятий в этом районе Арктической зоны и представить информационные материалы для заинтересованной общественности (рис. 6).

РГМ территорий включает оценки состояния здоровья населения исследуемых территорий. Особенностью оценки состояния здоровья населения в зоне возможного влияния радиационного фактора является особое внимание к здоровью «критических» групп населения, т.е. групп населения, подвергающихся наибольшему радиационному воздействию по данному пути облучения от данного источника излучения. В комплексной оценке состояния здоровья населения, проживающего вблизи радиационно-опасных объектов в условиях йодного дефицита (зобной эндемии) риск радиационных поражений щитовидной железы увеличивается, поэтому необходимы оценки степени йодной недостаточности и уровня эндемических заболеваний щитовидной железы. Кроме того, оценивается заболеваемость детей лейкозами и смертность от лейкозов как наиболее радиационно-зависимых опухолей. В рамках экспертных и прогнозных оценок состояния здоровья населения для оценки генетического здоровья используется частота и спектр врожденных пороков развития. Для характеристики состояния здоровья используются показатели заболеваемости, структура хронических заболеваний, инвалидность и смертность. Контролируются изменения



8 ТБк

содержат данные объекты

(90% суммарной активности всех затопленных объектов)

- АПЛ К-159 и К-27
- реакторные отсеки К-11 и К-19
- реактор атомной подводной лодки К-140
- экранная сборка атомного ледокола «Ленин»



Рис. 6. Мониторинг радиационной обстановки в регионе затопления ядерно- и радиационно опасных объектов Арктической зоны
Fig. 6. Monitoring radiation situation in the area of the flooding of nuclear and radiation hazardous facilities in the Arctic zone



Рис. 7. Мониторинг здоровья населения: критерии оценки
Fig. 7. Public health monitoring: assessment criteria

в динамике 5-летнего периода и появление возможных радиационных эффектов [8]. На рис. 7 представлены основные параметры, используемые для оценки состояния здоровья населения.

Результаты мониторинга здоровья населения позволяют констатировать безопасную работу радиационно опасных объектов на территории России. Мониторинг здоровья населения – обязательное условие безопасной работы радиационно опасных объектов и регламентируется Законом РФ «О радиационной безопасности населения». Разработанная в ФМБЦ им. А.И. Бурназяна и постоянно совершенствующаяся технология мониторинга здоровья населения позволяет контролировать здоровье населения на всех этапах работы радиационно-опасного объекта, от его проектирования до вывода из эксплуатации. Ключевыми результатами мониторинга здоровья населения являются базы данных, содержащие параметры здоровья населения исследуемых территорий ядерного и уранового наследия, территорий влияния АЭС и др.

Научные результаты в области промышленной радиационной гигиены

География исследовательских работ в области радиационной безопасности персонала – вся Россия, а также многие объекты в бывших республиках СССР: из 73 объектов атомной отрасли России, перечисленных в «Перечне организаций, эксплуатирующих особо радиационно-опасные и ядерно опасные производства и объекты», специалисты ФМБЦ им. А.И. Бурназяна работают на 95 % предприятий, рис. 8.

Исследование факторов радиационного воздействия на персонал предприятий ядерно-топливного цикла и ядерно-оружейного комплекса России формирует приоритетные научные направления в области промышленной радиационной гигиены:

- разработка и совершенствование нормативных и методических основ государственного санитарно-эпидемиологического регулирования на радиационно-опасных объектах;
- научно-методическое обеспечение радиационной безопасности персонала при штатной работе и в случае радиационной аварии;
- научно-методическое сопровождение работ по медико-психологическому обеспечению профессиональной надежности персонала;

География работ - вся Россия

а также объекты в бывших республиках СССР и в странах дальнего зарубежья (например, в Японии, после аварии на АЭС Фукусима-1)

Сотрудники ФМБЦ им. А.И. Бурназяна побывали и провели совместные работы и исследования на **всех радиационно опасных объектах атомной отрасли России**



Основные объекты:

- Все действующие АЭС
- АО ГХК
- АО СХК
- ПО «Маяк»
- Ангарский электролизный комбинат
- АО МСЗ
- НПО Луч
- НЗХК
- НИАР
- НИИТФА и др.

Рис. 8. География работ и объекты исследований в области промышленной радиационной гигиены

Fig. 8. Geography of work and objects of research in the field of radiation occupational health physics

– разработка средств индивидуальной защиты (СИЗ).

В исследованиях, сопровождающих обеспечение радиационной безопасности персонала, применяются современные инновационные методы и средства, в том числе разработанные и созданные при личном участии специалистов ФМБЦ им. А.И. Бурназяна [9–11]. Данные комплексы в обобщенном виде изображены на рис. 9.

Разработана и апробирована воксель-фантомная технология по оценке распределения дозы гамма-нейтронного облучения по массе жизненно важных органов. Разработанные дозиметрические системы позволяют осуществлять индивидуальный доз-контроль в услови-



Рис. 9. Средства оценки состояния радиационной безопасности персонала

Fig. 9. Means for assessing radiation safety of workers

Костюмы защитные



Рис. 10. Средства индивидуальной защиты
Fig. 10 Personal protection equipment

ях неравномерного облучения, т.е. определять основную геометрию условий облучения; одновременно осуществлять контроль по всем параметрам (эффективная доза, эквивалентные дозы в хрусталике глаза, коже, кистях и стопах и др.).

С помощью аппаратурно-методического комплекса для исследования аэродисперсных структур определены основные физико-химические характеристики радиоактивных аэрозолей на рабочих местах: радионуклидный состав, дисперсный состав, тип соединения. В результате разработана линейка импакторов для определения дисперсности аэрозолей.

Созданный нейтронный комплекс позволил на предприятиях ядерно-оружейного комплекса России провести сравнительные исследования по сличению дозиметрических систем нейтронного излучения в смешанных гамма-нейтронных полях. Впервые в отечественной практике получены значения поправочного коэффициента (0,2–1,15) на нейтронный канал дозы широко используемых индивидуальных альбедных дозиметров. В результате повышена достоверность контроля облучения персонала нейтронами.

Индивидуальный дозовый контроль персонала предприятий атомной отрасли и расчет ожидаемых эффективных доз внутреннего облучения осуществляется благодаря биофизическому комплексу. Кроме того, специалистами ФМБЦ им. А.И. Бурназяна осуществляется научно-методическое руководство лабораториями дозиметрии внутреннего облучения Центров гигиены и эпидемиологии ФМБА России. Решаются задачи аттестации и внедрения в практику работы таких лабораторий методик измерений содержания радионуклидов в пробах биологического материала и оказание научно-консультативной помощи.

Медико-психофизиологический комплекс – это бесконтактная экспресс-диагностика психофизиологического состояния персонала; работа на виртуальном психофизиологическом тренажере; психофизиологическое обследование работников предприятий; и, конечно же, профессиональная подготовка специалистов для лечебно-профилактических организаций.

Одним из важнейших направлений в области промышленной радиационной гигиены являются научные исследования и разработки для создания СИЗ. На рис. 10 представлена линейка разработанных специальных

защитных костюмов [12]. В начальный период становления атомной отрасли, когда концентрация радиоактивных аэрозолей в воздухе рабочих зон в большинстве случаев превышала нормативные значения в сотни и тысячи раз, исключительно актуальной задачей было создание средств защиты органов дыхания. Примером успешного решения этой проблемы было создание в конце 50-х годов прошлого столетия знаменитых одноразовых респираторов «ШБ-1 Лепесток» из так называемой петряновской фильтрующей ткани по имени выдающегося отечественного учёного академика И.В. Петрянова-Соколова. Их эффективность при малом сопротивлении дыханию достигала 99 %.

На современном этапе развития тематики СИЗ наиболее актуально форсирование решения задачи импортозамещения. В целом российские производители обеспечивают выпуск всей номенклатуры СИЗ для персонала радиационно опасных производств, однако сохраняется зависимость от импортных технологий, сырья, материалов и оборудования. Актуализация нормативно-технической базы и комплексный подход к развитию отечественных технологий производства позволит разработать новые стратегически важные СИЗ с учетом современных требований к их защитной эффективности и эргономике.

Роль и значение для развития радиационной гигиены проблемы ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС

В целом, мощным толчком совершенствования радиационной гигиены (как коммунальной, так и промышленной) стала авария на Чернобыльской АЭС, масштабы и сложность радиационной обстановки которой потребовали оперативной разработки дополнительных конкретных нормативов и правил для их реализации (рис. 11). В кратчайшие сроки было необходимо решить задачу выработки научно обоснованной стратегии действий государства по защите населения в этой беспрецедентной и жизненно важной ситуации. В течение двух недель после катастрофы были разработаны впервые в мировой практике «Рекомендации по критериям возможности проживания населения, необходимости отселения и временной эвакуации на территории, подвергшейся радиоактивному загрязнению в результате аварии на ЧАЭС», в которых установлены аварийные регламен-



Рис. 11. Ликвидация последствий аварии на ЧАЭС – мощный толчок развития радиационной гигиены

Fig. 11. Mitigation of the ChNPP consequences is a powerful impetus for the development of radiation health physics

ты облучения населения – 100 мЗв за первый год после аварии – и впервые осуществлено зонирование территории по уровням гамма-излучения на местности.

Обеспечение радиационной безопасности населения, проживавшего в зонах радиоактивного загрязнения, потребовало разработки допустимых уровней внутреннего облучения в виде допустимых концентраций долгоживущих радионуклидов в самых разнообразных объектах: фураже, молоке, мясных, зерновых продуктах, питьевой воде, одежде, в лекарственных растениях, автотранспорте и т.п., что нашло отражение в разработанных в кратчайшие сроки более тридцати нормативно-методических документах. Среди первых регулирующих документов были: Временное допустимое содержание йода-131 в питьевой воде и продуктах питания и Временные допустимые уровни содержания радиоактивных веществ в продуктах питания. В последующем (после 1997 г.) специалистами ФМБЦ им. А.И. Бурназяна разработаны нормативы допустимой удельной активности цезия-137 и стронция-90 в более чем 140 видах пищевой продукции, потребляемой населением России, действующие по сей день [13].

Совершенствование радиационной гигиены невозможно также без тщательного изучения биологических материалов. В этих целях учеными ФМБЦ им. А.И. Бурназяна одними из первых в мире была предложена методология биобанкинга случаев радиационных поражений человека. Большую часть созданного биобанка занимают материалы секционных исследований погибших в результате аварии на ЧАЭС.

Общеизвестно, что радиационная гигиена как наука не является и никогда не будет являться законченной книгой. Однако новые записи на ее страницах невозможны без скрупулезного анализа и обобщения предыдущего опыта, поскольку, только усвоив уроки прошлого, можно предотвратить малые и большие ошибки в будущем. В качестве наглядного примера написания научной «книги» радиационной гигиены путем проб и совершенствования ранее выдвинутых положений можно привести отечественный опыт развития йодной профилактики радиационной патологии щитовидной железы. Профилактика с помощью стабильного йода является важнейшим защитным мероприятием и составной частью плана общего реагирования на радиационную аварию ядерного реактора. Ее основные принципы были сформулированы под руководством академика Л.А. Ильина еще в середине 60-х годов прошлого века. В соответствии с первой инструкцией, утвержденной Минздравом СССР в декабре 1967 г., решение о начале профилактики определялось ожидаемой дозой в щитовидной железе за счет

поступления радиоактивного йода в организм пострадавших. Однако авария на ЧАЭС показала, что условия развития, состав и характер распространения радиоактивных выбросов, а также формирование доз облучения населения отличаются от принятых ранее прогностических моделей аварии. Авария на ЧАЭС развивалась по катастрофическому сценарию: радиоактивные выбросы из разрушенного реактора продолжались в течение 10 сут, распространялись на огромные территории европейской части бывшего СССР, вовлекая в орбиту радиационного воздействия десятки миллионов людей. Поэтому после аварии на ЧАЭС в системе радиационной защиты были пересмотрены организационные принципы проведения йодной профилактики и величины ожидаемых доз для принятия решения о ее начале. Тем самым опыт преодоления последствий аварии 1986 г. был использован для оптимизации схемы йодной профилактики при авариях на ядерных установках. В 2010 г. было разработано действующее до 2023 г. «Руководство по йодной профилактике в случае возникновения радиационной аварии». В 2023 г., после участвовавших атак ВСУ на Запорожскую АЭС в ходе специальной военной операции, нашими специалистами это руководство было вновь доработано и утверждено руководителем ФМБА России В.И. Скворцовой. Этот факт наглядно демонстрирует профилактическую роль радиационной коммунальной гигиены.

Дозы облучения персонала и населения

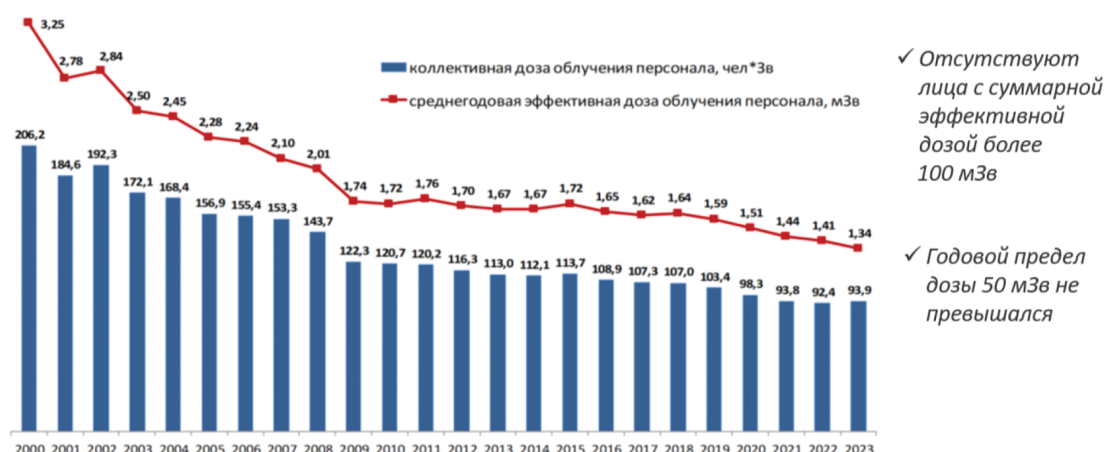
В результате внедрения в практику этих разработок отечественных радиационных гигиенистов и с учётом строго соблюдаемой производственной дисциплины на объектах Госкорпорации «Росатом» в настоящее время среднегодовая доза облучения персонала не превышает установленной НРБ величины 20 мЗв в год и составляет доли от этого значения (рис. 12). При этом необходимо учитывать, что под дозиметрическим контролем в Госкорпорации «Росатом» состоит около 70 тыс. профессиональных работников. За последние 23 года среди работников Госкорпорации «Росатом» не было зафиксировано ни одного случая острой лучевой болезни, лишь несколько случаев местных радиационных поражений были установлены в 2012 г.

Рассматривая оценку доз облучения населения в России, следует отметить, что основной вклад в дозу вносят природные и медицинские источники излучения (рис. 13). При этом вклад от глобальных выпадений и прошлых радиационных аварий, а также от источников ионизирующих излучений в промышленности составляет сотые доли процента от натурального естественного фона. Среднегодовые дозы облучения населения за счёт работы предприятий атомной энергетики находятся на уровне 0,01 мЗв (при регламенте 1 мЗв). Таким образом, в условиях регламентной, штатной работы предприятий атомной индустрии достигнута устойчивость радиационно-гигиенической и радиационно-экологической обстановки.

Важным направлением является создание и обеспечение функционирования информационных систем, банков и баз данных по радиационной гигиене, дозам облучения персонала и населения. На протяжении последних 20 лет ФМБЦ им. А.И. Бурназяна развивает и поддерживает Федеральный банк данных индивидуальных доз облучения персонала организаций и населения на территориях, обслуживаемых ФМБА России (рис. 14). Ежегодно издается информационный бюллетень «Единая система контроля и учета индивидуальных доз облучения граждан» и накопленные материалы представляются в ежегодный «Радиационно-гиги-

65 800 работников ГК «Росатом»

Установленный норматив – 20 мЗв/год



* Данные ГК «Росатом» за 2023 г.

✓ Отсутствуют лица с суммарной эффективной дозой более 100 мЗв

✓ Годовой предел дозы 50 мЗв не превышался

Рис. 12. Дозы облучения персонала
Fig. 12. Occupational doses



В условиях регламентной, штатной работы предприятий атомной отрасли достигнута устойчивая радиационно-гигиеническая и экологическая обстановка

Рис. 13. Дозы облучения населения
Fig. 13. Public doses

енический паспорт России», издаваемый Роспотребнадзором.

По результатам оценки радиационно-гигиенической паспортизации субъектов Российской Федерации за 2023 г. [14], ведущим фактором облучения населения остаются природные источники и медицинские рентгенологические процедуры, дающие в сумме более 99 % коллективной дозы. В 2023 г. наибольшие значения средних годовых доз природного облучения, превышающие 5 мЗв/год, на территориях, курируемых ФМБА России, отмечены в г. Железногорске (6,4 мЗв), г. Трехгорном (6 мЗв), г. Краснокаменске (5,3 мЗв), а также в г. Лермонтове, расположенном в районе объектов уранового наследия (бывшее предприятие ЛПО «Алмаз»).

Наибольший вклад в коллективную дозу медицинского облучения пациентов в 2023 г. внесли компьютерная томография (56,6 %) и рентгенографические исследования (15,5 %). Вклад радионуклидных исследований составил 16,7 %.

Радон является основным источником облучения населения среди всех техногенных, медицинских и природных источников ионизирующих излучений. Среднемировое значение доз облучения населения за счет изотопов радона в помещениях жилых и общественных зданий составляет около 1,2 мЗв/год, при том, что для больших контингентов населения в разных странах эта величина может составлять от менее 1 мЗв/год до нескольких десятков мЗв/год. Радон в помещениях является основным фактором инициации рака легких у некурящих людей, поражая от 10 % до 15 % этой популяции, и увеличивает риск в 25 раз среди активных курильщиков по сравнению с некурящими. Риск развития рака легких возрастает с повышением уровня воздействия радона. В зависимости от среднего значения объемной активности радона, доля радон-индуцированного рака легких в разных странах лежит в диапазоне от 3 до 14 % от общего числа всех раков легких [15].

Современное состояние регулирующей базы в области радиационной безопасности персонала и населения

Среди различных методов и способов защиты человека от техногенного облучения исключительная роль принадлежит регламентации и нормированию радиационного воздействия на людей и жесткому соблюдению нормативов такого воздействия. Специалисты ФМБЦ им. А.И. Бурназяна – авторы первых допустимых уровней 1960 г., а затем Норм радиационной безопасности (НРБ) и Основных санитарных правил обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ). На основе опыта сопровождения работ на всех звеньях ядерно-топливного цикла разработаны Санитарные правила проектирования предприятий и установок атомной промышленности и Санитарные правила проектирования и эксплуатации АЭС.

Выполняя функции регулирования радиационной безопасности населения, за последние десятилетия было выпущено более 30 новых нормативно-методических документов, разработаны методические указания по контролю практически всей линейки природных и техногенных радионуклидов в объектах окружающей среды и пищевых продуктах, а также руководства и рекомендации по методам интегральной оценки состояния здоровья населения.

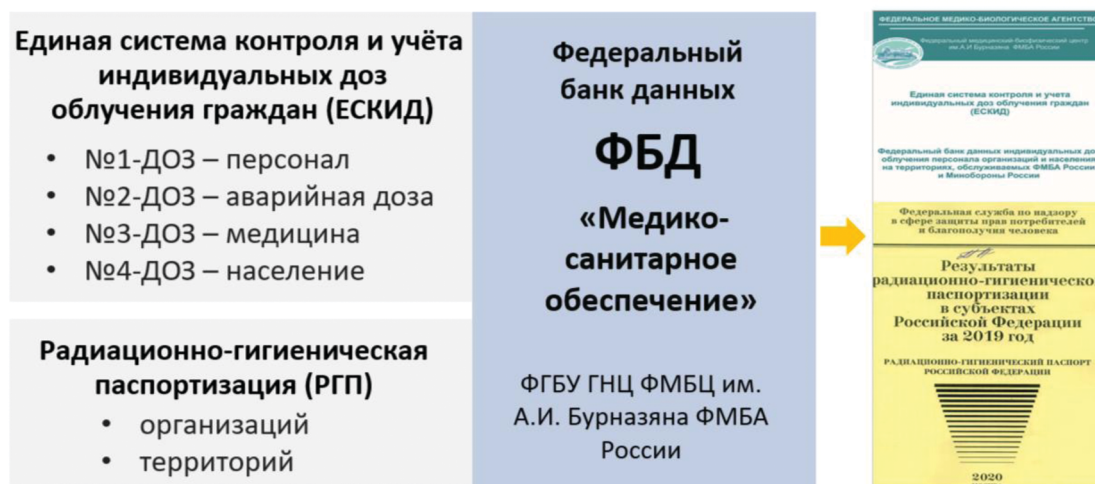


Рис. 14. Федеральный банк данных

Fig. 14. Federal data bank

Вместе с тем, имеются достаточно веские основания для развития научных основ и практики радиационной гигиены, а, следовательно, совершенствования системы обеспечения радиационной безопасности персонала и населения, а также системы регулирования радиационной безопасности в Российской Федерации. При этом большое значение придается вопросам гармонизации российской нормативно-методической базы по радиационной безопасности с современными международными документами. Как показал анализ, выполненный специалистами ФМБЦ им. А.И. Бурназяна, в действующий закон «О радиационной безопасности населения» необходимо внести 12 новых статей, а также внести изменения в 22 статьи [16, 17].

Актуальные направления развития радиационной гигиены

Новые виды ядерного топлива

В настоящее время атомная энергетика работает в условиях открытого ядерно-топливного цикла, при котором ядерное топливо, использованное в реакторах, в дальнейшем рассматривается в качестве РАО. Развитие экономики, а также снижение ресурсной базы ядерной энергетики требует внедрения новых технологий, при которых уран и плутоний будут подлежать радиохимиче-

ской переработке и повторному использованию, то есть рециклированию. Использование новых видов ядерного топлива, полученных на основе регенерированного урана, позволит запустить замкнутый ядерно-топливный цикл, при котором ядерное топливо будет использовано многократно. Начиная с 2018 г., ФМБЦ им. А.И. Бурназяна стал частью команды, причастной к разработке технологий для атомной энергетики будущего, – масштабного проекта «Прорыв», в котором нами осуществлено радиационно-гигиеническое сопровождение работ по производству экспериментальных партий СНУП (смешанного нитрид-уран-плутониевого) топлива с оценкой состояния здоровья персонала [18] (рис. 15). Используя накопленный опыт и разработанную методологию, весьма актуально изучение других новых видов ядерного топлива: РЕМИКС (смесь регенерированного урана и плутония, образующаяся при обработке ОЯТ), МОКС-топливо (смешанное оксидное уран-плутониевое топливо), а также промышленное производство СНУП-топлива.

Медицинская ядерная криминалистика

Одним из ключевых вызовов современности для радиационной безопасности населения, персонала и окружающей среды являются угрозы ядерного и радиологического терроризма. Для их предотвращения необходимо сосре-



Рис. 15. Радиационно-гигиенические и медицинские исследования персонала экспериментального производства СНУП топлива

Fig. 15. Radiation health physics and medical examination of the personnel of experimental manufacturing the SNUP fuel



Рис. 16. Необходимые условия развития ядерных технологий в атомной отрасли

Fig. 16. Necessary conditions for the development of nuclear technologies in the nuclear industry

доточиться на создании надежных рабочих инструментов противодействия, приоритетным среди которых выступает ядерная криминалистика – практико-ориентированная дисциплина, обеспечивающая своими положениями и рекомендациями деятельность правоохранительных органов по выявлению, расследованию, раскрытию и предупреждению преступлений с применением ядерных и радиоактивных материалов. На основе обобщения многолетнего опыта радиобиологических исследований специалистами ФМБЦ им. А.И. Бурназяна разработана уникальная методология ядерно-криминалистических экспертиз, заложившая основы нового научного направления – медицинской ядерной криминалистики. Особо следует отметить социальную направленность этих работ, реализуемую в повышении эффективности расследований случаев несанкционированного применения радиоактивных материалов, конечным результатом которых становятся практические меры по сведению к минимуму количества облученных лиц из населения, а также радиоактивного загрязнения окружающей среды и связанных с этим экономических и социальных потерь.

Новые реакторные технологии

Действующими федеральными программами развития атомной энергетики и промышленности предусмотрено проектирование и ввод в эксплуатацию целой линейки принципиально новых и перспективных реакторных технологий, в том числе атомных станций малой мощности, жидкосольевых исследовательских ядерных реакторов с повышенными экспериментальными возможностями, АЭС с реакторами ВВЭР нового поколения. Тем самым в интересах обеспечения обороны и безопасности страны Президентом поставлены масштабные задачи. В этих условиях направление гигиенического обеспечения стадий жизненного цикла перспективных реакторных технологий является необходимым условием их развития и выполнения. Поэтому в качестве приоритетных направлений развития радиационной гигиены следует выделить следующие (рис. 16):

- формирование научно обоснованной гигиенической концепции обеспечения безопасности персонала и населения, учитывающей многовариантный характер потенциально опасных физических и химических факторов рабочей среды на стадиях жизненного цикла;
- создание полноценной системы гигиенических требований к стадиям жизненного цикла перспективных реакторных установок;
- формирование механизмов комплексного гигиенического мониторинга и оценки сочетанного и комбиниро-

ванного воздействия факторов рабочей среды на всех стадиях жизненного цикла реакторных технологий.

Цифровизация

Дальнейшее совершенствование и разработку новых медико-санитарных технологий, направленных на обеспечение радиационной безопасности, мы связываем с развитием и внедрением в практику цифровых технологий, формирующих основы трансляционной цифровой радиационной гигиены. Это – не только сбор радиационно-гигиенических данных посредством формирования цифровых представлений реального мира в результате оцифровки, но и интеграция данных с помощью алгоритмов информационно-аналитических систем с применением технологий визуализации радиационной обстановки. На рис. 17 приведены достигнутые к настоящему времени результаты интеллектуальной деятельности в области радиационной гигиены.

Уже сегодня реальными научно-практическими задачами радиационной гигиены становятся развитие комплексного подхода к цифровизации мониторинга и создание отечественного рынка цифровых технологий РГМ. Тем самым станет возможным ликвидировать существующий разрыв между научными исследованиями в области радиационной гигиены и практикой государственного санитарно-эпидемиологического надзора за радиационной безопасностью.

Заключение

Созданная трудами нескольких поколений ученых ФМБЦ им. А.И. Бурназяна наука о радиационной безопасности – радиационная гигиена – является одним из мощнейших двигателей развития атомной энергетики и промышленности. Благодаря функционированию выстроенной системы научных знаний в области радиационной гигиены, в настоящее время обеспечен полный цикл медико-гигиенической безопасности персонала, работающего на объектах атомной отрасли, и населения, проживающего в зоне влияния этих объектов – от научной разработки до внедрения её в практику. На рис. 18 представлены основные научные разделы радиационной гигиены, развиваемые в ФМБЦ им. А.И. Бурназяна.

Как следует из материалов рис. 18, радиационная гигиена тесно связана с другими разделами гигиены через общие задачи обеспечения здоровья человека и профилактики воздействия вредных факторов. Их интеграция позволяет создать эффективные системы защиты здоровья человека, как в условиях обычной жизнедеятельности, так и в условиях радиационной аварии. А разрабо-

Трансляционная цифровая радиационная гигиена

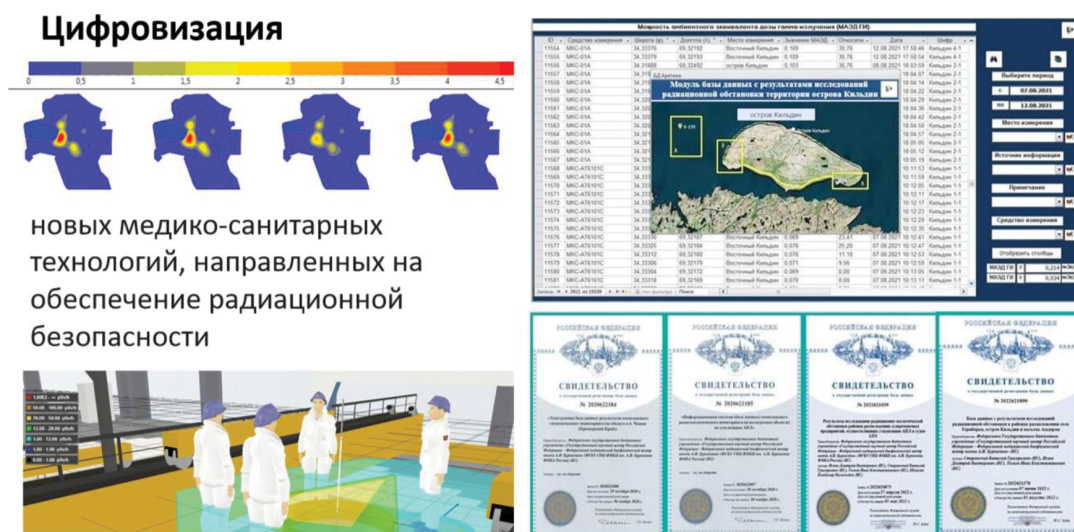


Рис. 17. Информационная платформа радиационно-гигиенического мониторинга

Fig. 17. Information platform of radiation health physics monitoring

танная технология радиационно-гигиенического мониторинга и полученные результаты создают предпосылки для развития интегративного подхода к оценке качества жизни населения, проживающего в районах расположения радиационно опасных объектов.

Реализуемый в ФМБЦ им. А.И. Бурназяна междисциплинарный подход позволяет комплексно решать сложные проблемы радиационной безопасности. В частности, решать такие сложные задачи, как:

- обеспечение безопасного обращения с ОЯТ и РАО;
- обеспечение приемлемого уровня риска влияния на человека и окружающую среду радиационно опасных объектов, как функционирующих, так и проектируемых, выводимых из эксплуатации и реабилитируемых, т.е. на всех этапах жизненного цикла;
- создание условий для снижения социальной напряженности в регионах размещения объектов ядерно-

топливного цикла и оборонно-промышленного комплекса России;

- повышение доверия общества к дальнейшему развитию атомной энергетики и промышленности.

ФМБЦ им. А.И. Бурназяна готов к имеющимся вызовам обеспечения радиационной безопасности и к решению возможных новых задач, которые поставит наука радиационная гигиена.

Благодарность

Авторы благодарят ведущего научного сотрудника Зозуль Ю.Н., старших научных сотрудников А.А. Филонову и Д.В. Исаева, научных сотрудников Ю.С. Бельских, Т.А. Дороньеву и С.В. Ахромееву, младших научных сотрудников А.А. Шитову, Ю.В. Кроткову, В.В. Шлыгина и А.Н. Малахову, техника Л.Н. Волконскую за проведенные натурные, дозиметрические, гамма-спектрометрические и радиохимические исследования.

РАДИАЦИОННАЯ ГИГИЕНА



Рис. 18. Научная дисциплина – радиационная гигиена

Fig. 18. Science-based discipline – radiation health physics

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Шандала Н.К., Киселёв С.М., Квачева Ю.Е., Серегин В.А., Семенова М.П., Метляев Е.Г. Радиационная гигиена и безопасность населения. Отделу радиационной безопасности населения 70 лет. М.: ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 2024. 122 с.
2. Ильин Л.А., Шандала Н.К., Савкин М.Н. и др. Место и роль радиационно-гигиенического мониторинга в системе социально-гигиенического мониторинга // Гигиена и санитария. 2004. № 5. С. 9-15.
3. Shandala N., Sneve M., Seregin V., Filonova A. Radiation Survey and Environmental Impact Assessment at the Site of Temporary Storage at Andreeva Bay (16 Years of Studies) // J. Radiol. Prot. 2021. No.41. P. 406-426. doi: 10.1088/1361-6498/ac241c
4. Kiselev S., Shandala N., Laschenova T., Shlygin V., Zozul Yu., Akhromeev S., Gimadova T. Comprehensive Environmental Monitoring during Remediation of a Nuclear Legacy Site in the Far East of Russia // J. Radiol. Prot. 2021. No.41. P. 216-229. doi: 10.1088/1361-6498/abecf4
5. Бельских Ю.С., Шандала Н.К., Титов А.В., Исаев Д.В., Семенова М.П., Оськина К.Ю., Гуцина Ю.В., Филонова А.А. Исследование радиационной обстановки на отвалах рудника № 1 ЛПО «Алмаз» через 5 лет после проведения рекультивации // Гигиена и санитария. 2022. Т.101. №7. С. 736-740. doi: 10.47470/0016-9900-2022-101-7-736-740
6. Серегин В.А., Гуцина Ю.В., Бельских Ю.С. и др. Радиационно-гигиенический мониторинг в районах расположения объектов и предприятий уранового наследия стран Центральной Азии в период рекультивации // Матер. Международной научно-практической конференции «Здоровье и окружающая среда». Минск, 23-24 ноября 2023 г. Минск: Научно-исследовательский институт гигиены, токсикологии, эпидемиологии, вирусологии и микробиологии, 2023.
7. Шандала Н.К., Старинский В.Г., Семенова М.П., Филонова А.А., Саленко Ю.А., Старинская Р.А., Исаев Д.В., Серегин В.А., Гуцина Ю.В., Шитова А.А. Роль ФГБУ «ГНЦ – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна» Федерального медико-биологического агентства в обеспечении санитарно-эпидемиологического благополучия и радиационной безопасности в Арктической зоне Российской Федерации // Медицина катастроф. 2023. №1. С. 5-8. doi: 10.33266/2070-1004-2023-1-5-8
8. Экспертные и прогнозные оценки состояния здоровья населения в районах размещения атомных станций: Методические указания. МУ 2.6.5.032-2014. М., 2014. 30 с.
9. Карев А.Е. Аппаратурно-методический комплекс для оценки ингаляционного поступления радиоактивных газо-аэрозольных смесей: Автореферат дис. канд. техн. наук. М.: ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 2018. 23 с.
10. Кочетков О.А., Тарасова Е.Ю., Шинкарев С.М., Румянцев Е.А. Сличение дозиметрических систем фотонного и нейтронного излучений, используемых в организациях Госкорпорации «Росатом» для контроля в ситуации планируемого облучения // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2023. Т.68. №6. С. 118-124. doi: 10.33266/1024-6177-2023-68-6-118-124
11. Молоканов А.А., Кухта Б.А., Максимова Е.Ю. Сравнительный анализ подходов к нормированию и контролю внутреннего облучения персонала // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2021. Т.66. №6. С.102-110. doi: 10.12737/1024-6177-2021-66-6-102-110
12. Рубцов В.И., Клочков В.Н., Требухин А.Б. и др. СИЗ персонала предприятий атомной промышленности и энергетики. М., 2020. 252 с.
13. Квачева Ю.Е., Шандала Н.К., Паринков О.В., Метляев Е.Г., Лебедев А.О. Вопросы научного обеспечения радиационной безопасности на основе опыта преодоления последствий Чернобыльской аварии // Медицина катастроф. 2021. №3. С.10-19. doi: 10.33266/2070-1004-2021-3-10-19
14. Попова А.Ю. Информация «Об оценке состояния обеспечения радиационной безопасности населения в рамках радиационно-гигиенической паспортизации». М.: Роспотребнадзор, 2024. 3 с.
15. Киселев С.М. Жуковский М.В., Стамат И.П., Ярмошенко И.В. Радон: От фундаментальных исследований к практике регулирования: Монография. М.: ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 2016. 427 с.
16. Симаков А.В., Абрамов Ю.В. К разработке новых редакций Норм радиационной безопасности и Основных санитарных правил обеспечения радиационной безопасности // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2019. №5. С.15-19. doi: 10.12737/1024-6177-2019-64-5-15-19
17. Кочетков О.А., Клочков В.Н., Самойлов А.С., Шандала Н.К., Барчуков В.Г., Шинкарев С.М. Общие принципы правового и нормативно-методического регулирования радиационной безопасности // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2022. Т.67. №1. С. 19-26. doi: 10.12737/1024-6177-2022-67-1-19-26
18. Паринков О.В., Лягинская А.М., Галстян И.А., Метляев Е.Г. и др. Временные рекомендации по проведению медицинских осмотров работников производства ЧНУП топлива: Стандарт организации. М.: ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 2023. 24 с.

REFERENCES

1. Shandala N.K., Kiselev S.M., Kvacheva Yu.Ye., Seregin V.A., Semenova M.P., Metlyayev Ye.G. *Radiatsionnaya Gigiya i Bezopasnost' Naseleniya. Otdelu Radiatsionnoy Bezopasnosti Naseleniya 70 Let* = Radiation Hygiene and Safety of the Population. The Department of Radiation Safety of the Population is 70 Years Old. Moscow, FMBTS im. A.I. Burnazyana FMBA Rossii Publ., 2024. 122 p. (In Russ.).
2. Il'in L.A., Shandala N.K., Savkin M.N., et al. Place and Role of Radiation-Hygienic Monitoring in the System of Social-Hygienic Monitoring. *Gigiya i Sanitariya* = Hygiene and Sanitation. 2004;5:9-15 (In Russ.).
3. Shandala N., Sneve M., Seregin V., Filonova A. Radiation Survey and Environmental Impact Assessment at the Site of Temporary Storage at Andreeva Bay (16 Years of Studies). *J. Radiol. Prot.* 2021;41:406-426. doi: 10.1088/1361-6498/ac241c
4. Kiselev S., Shandala N., Laschenova T., Shlygin V., Zozul Yu., Akhromeev S., Gimadova T. Comprehensive Environmental Monitoring during Remediation of a Nuclear Legacy Site in the Far East of Russia. *J. Radiol. Prot.* 2021;41:216-229. doi: 10.1088/1361-6498/abecf4
5. Bel'skikh Yu.S., Shandala N.K., Titov A.V., Isayev D.V., Semenova M.P., Os'kina K.Yu., Gushchina Yu.V., Filonova A.A. Study of the Radiation Situation at the Dumps of Mine No. 1 of the Almaz LPO 5 Years after Reclamation. *Gigiya i Sanitariya* = Hygiene and Sanitation. 2022;101;7:736-740 (In Russ.). doi: 10.47470/0016-9900-2022-101-7-736-740
6. Seregin V.A., Gushchina Yu.V., Bel'skikh Yu.S., et al. Radiation and Hygienic Monitoring in the Areas of Location of Uranium Legacy Sites and Enterprises of Central Asian Countries during the Reclamation Period. *Zdorov'ye i Okruzhayushchaya Sreda* = Health and Environment. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. Minsk, November 23-24, 2023. Minsk, Nauchno-Issledovatel'skiy Institut Gigeny, Toksikologii, Epidemiologii, Virusologii i Mikrobiologii Publ., 2023. (In Russ.).
7. Shandala N.K., Starinskiy V.G., Semenova M.P., Filonova A.A., Salenko Yu.A., Starinskaya R.A., Isayev D.V., Seregin V.A., Gushchina Yu.V., Shitova A.A. The Role of the Federal State Budgetary Institution "SRC - Federal Medical Biophysical Center named after A.I. Burnazyan" of the Federal Medical and Biological Agency in Ensuring Sanitary and Epidemiological Well-Being and Radiation Safety in the Arctic Zone of the Russian Federation. *Meditsina Katastrof* = Disaster Medicine. 2023;1:5-8. doi: 10.33266/2070-1004-2023-1-5-8.

8. *Ekspertnyye i Prognozyne Otsenki Sostoyaniya Zdorov'ya Naseleniya v Rayonakh Razmeshcheniya Atomnykh Stantsiy* = Expert and Forecast Assessments of the Health Status of the Population in Areas where Nuclear Power Plants are Located. Methodological Guidelines. MU 2.6.5.032-2014. Moscow, 2014. 30 p. (In Russ.).
9. Karev A.Ye. *Apparurno-Metodicheskiy Kompleks dlya Otsenki Ingalyatsionnogo Postupleniya Radioaktivnykh Gazo-Aerozol'nykh Smesey* = Hardware and Methodological Complex for Assessing the Inhalation Intake of Radioactive Gas-Aerosol Mixtures. Abstract of Candidate Thesis (Tech. Sci.). Moscow, FMBTS im. A.I. Burnazyana FMBA Rossii Publ., 2018. 23 p. (In Russ.).
10. Kochetkov O.A., Tarasova Ye.YU., Shinkarev S.M., Rumyantsev Ye.A. Comparison of Dosimetric Systems of Photon and Neutron Radiation Used in Organizations of the State Corporation Rosatom for Monitoring in a Situation of Planned Irradiation. *Meditsinskaya Radiologiya i Radiatsionnaya Bezopasnost'* = Medical Radiology and Radiation Safety. 2023;68;6:118-124 (In Russ.). doi: 10.33266/1024-6177-2023-68-6-118-124.
11. Molokanov A.A., Kukhta B.A., Maksimova Ye.Yu. Comparative Analysis of Approaches to Standardization and Control of Internal Irradiation of Personnel. *Meditsinskaya Radiologiya i Radiatsionnaya Bezopasnost'* = Medical Radiology and Radiation Safety. 2021;66;6:102-110 (In Russ.). doi: 10.12737/1024-6177-2021-66-6-102-110.
12. Rubtsov V.I., Klochkov V.N., Trebukhin A.B., et al. *SIZ Personal Predpriyatiy Atomnoy Promyshlennosti i Energetiki* = PPE for Personnel of Nuclear Industry and Energy Enterprises. Moscow Publ., 2020. 252 p. (In Russ.).
13. Kvacheva Yu.Ye., Shandala N.K., Parinov O.V., Metlyayev Ye.G., Lebedev A.O. Issues of Scientific Support for Radiation Safety Based on the Experience of Overcoming the Consequences of the Chernobyl Accident. *Meditsina Katastrof* = Disaster Medicine. 2021;3:10-19 (In Russ.). doi: 10.33266/2070-1004-2021-3-10-19.
14. Popova A.Yu. Information On the Assessment of the State of Ensuring Radiation Safety of the Population Within the Framework of Radiation-Hygienic Certification. Moscow, Rospotrebnadzor Publ., 2024. 3 p. (In Russ.).
15. Kiselev S.M., Zhukovskiy M.V., Stamat I.P., Yarmoshenko I.V. *Radon: ot Fundamental'nykh Issledovaniy k Praktike Regulirovaniya* = Radon: from Fundamental Research to Regulatory Practice: Monograph. Moscow, FMBTS im. A.I. Burnazyana FMBA Rossii Publ., 2016. 427 p. (In Russ.).
16. Simakov A.V., Abramov Yu.V. On the Development of new Editions of the Radiation Safety Standards and the Basic Sanitary Rules for Ensuring Radiation Safety. *Meditsinskaya Radiologiya i Radiatsionnaya Bezopasnost'* = Medical Radiology and Radiation Safety. 2019;5:15-19 (In Russ.). doi: 10.12737/1024-6177-2019-64-5-15-19
17. Kochetkov O.A., Klochkov V.N., Samoylov A.S., Shandala N.K., Barchukov V.G., Shinkarev S.M. General Principles of Legal and Normative-Methodical Regulation of Radiation Safety. *Meditsinskaya Radiologiya i Radiatsionnaya Bezopasnost'* = Medical Radiology and Radiation Safety. 2022;67;1:19-26 (In Russ.). doi: 10.12737/1024-6177-2022-67-1-19-26.
18. Parinov O.V., Lyaginskaya A.M., Galstyan I.A., Metlyayev Ye.G., et al. Temporary Recommendations for Conducting Medical Examinations of Workers in the Production of Fuel Additives: Organization Standard. Moscow, FMBTS im. A.I. Burnazyana FMBA Rossii Publ., 2023. 24 p. (In Russ.).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Материалы и результаты исследований, включенные в статью, получены в рамках выполнения Федеральных целевых программ «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016 – 2020 годы и на период до 2030 года» и «Промышленная утилизация вооружения и военной техники ядерного комплекса».

Участие авторов. Шандала Н.К. – организация исследований, сбор и обработка материала по радиационной гигиене, написание текста; Самойлов А.С. – концепция статьи и редактирование; Серегин В.А. – сбор материала по радиационной гигиене и проведению радиационно-гигиенического мониторинга на объектах уранового наследия Центральной Азии; Киселев С.М. – сбор материала по радиационно-гигиеническому мониторингу на объектах ядерного наследия России и оценке облучения населения за счет радона; Квачева Ю.Е. – сбор материала по биоинженерии и медицинской ядерной криминалистике; Метляев Е.Г. – сбор материала по оценке состояния здоровья населения и йодной профилактики; Кочетков О.А. – сбор материала по радиационной безопасности персонала и нормативно-правовому регулированию радиационной безопасности; Ключков В.Н. – сбор материала по радиационной безопасности персонала и нормативно-правовому регулированию радиационной безопасности; Титов А.В. – сбор и обработка материалов по радиационно-гигиеническому мониторингу на объектах уранового наследия России и Центральной Азии; Кольшикин А.Е. – сбор материала по ядерно-энергетическим установкам и комплексной гигиенической оценке облучения персонала; Семенова М.П. – сбор материала по радиационно-гигиеническому мониторингу на объектах уранового наследия России, перевод на английский и редактирование текста. Все соавторы – утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Поступила: 20.02.2025. Принята к публикации: 25.03.2025.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Financing. The work was financed under the Federal Target Programs “Nuclear and Radiation Safety for 2016-2020 and for the period until 2030” and “Industrial Decommissioning and Disposal of Weapons and Military Equipment of the Nuclear Complex”.

Contribution. Shandala N.K. – study conception and design, radiation health physics data collection and processing, writing the text; Samoylov A.S. – article conception and editing the text; Seregin V.A. – radiation health physics data collection and conducting radiation health physics monitoring at the uranium legacy sites in Central Asia; Kiselev S.M. – data collection on radiation health physics monitoring at the Russian nuclear legacy sites and on the public exposure assessment due to radon; Kvacheva Yu.E. – data collection on bio banking and medical nuclear forensics; Metlyayev E.G. – data collection on assessing the health status of the public and iodine prophylaxis; Kochetkov O.A. – data collection on radiation safety and protection of workers and regulatory framework for radiation safety; Klochkov V.N. – data collection on radiation safety and protection of workers and regulatory framework for radiation safety; Titov A.V. – collection and processing of data on radiation health physics monitoring at uranium legacy sites in Russia and Central Asia; A.E. Kolyshkin – data collection on nuclear power plants and comprehensive health physics assessment of occupational exposure; Semenova M.P. – data collection on radiation health physics monitoring at Russian uranium legacy sites, translation into English and text editing. All authors are responsible for approval of the final version of the article and integrity of all parts of the article.

Article received: 20.02.2025. Accepted for publication: 25.03.2025.