

80 лет атомной промышленности и роль радиационной гигиены

Большов Л.А., Линге И.И., Панченко С.В.

Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук, Москва, Россия

В обзорно-постановочной статье рассмотрены основные вехи формирования эффективной и объемлющей все аспекты современной жизнедеятельности системы обеспечения радиационной безопасности человека в России, в том числе за счет создания независимых научных организаций. Становление атомной отрасли и разработка требований радиационной безопасности шло параллельно, опираясь как на отечественные исследования и разработки, так и, разумеется, на мировые тенденции и рекомендации в области нормирования. Сегодня можно смело констатировать, что в России функционирует надежная система обеспечения радиационной безопасности человека. Реальные дозы, даже оцененные консервативно, существенно ниже нормативных величин. Однако для повышения конкурентоспособности атомной отрасли требуется пересмотр некоторых положений основных нормативных актов в соответствии с последними международными подходами, чemu препятствуют не отвечающие современной ситуации требования Федерального закона от 09.01.1996 № 3-ФЗ «О радиационной безопасности». Несмотря на многочисленные публикации и исследования, остаются нерешенными вопросы как в части установления производных показателей радиационной безопасности, так и основных пределов дозы. Остается проблема, связанная с отсутствием четко выработанных критериев применительно к необходимости проведения реабилитации территорий, а также критерии завершения работ по выводу из эксплуатации объектов наследия. В России все еще придерживаются принципа ограничения дозовых пределов, которые якобы основного предела доз, даже для ситуаций существующего облучения. В статье рассматривается проблема установленного ограничения по годовой эффективной дозе облучения критической группы населения при захороненииadioактивных отходов на уровне в 500–10000 раз ниже, чем рекомендуют международные организации, что в свою очередь не позволяет выстроить эффективную систему захоронения отходов, снижает темпы строительства пунктов захоронения и вывода из эксплуатации объектов наследия.

Ключевые слова: радиационная безопасность, дозы облучения, захоронение радиоактивных отходов, предел эффективной дозы облучения.

Введение

В 2025 году исполняется 80 лет атомной отрасли России. Появление атомной промышленности, а затем и атомной энергетики перевело вопросы радиационной безопасности (РБ) с уровня относительно рядовых в шеренге гигиенических дисциплин науки и практики в крупную государственную проблему, решением которой были заняты многие сотни ученых и специалистов различных отраслей науки. Самоотверженный труд этих специалистов и, в равной степени, специалистов в области ядерной техники позволил за несколько десятилетий перевести атомную промышленность в режим, при котором гарантируется надежное соблюдение требований безопасности работников и населения, в том числе в условиях радиационных аварий. Тематика крупных ядерных аварий уже рассматривалась нами [1], в связи с чем в данной статье не будет детально затронута. Целью статьи является рассмотрение основных вех становления системы радиационной безопасности, в том числе развилик, которые были пройдены с различной степенью успешности, и определение приоритетных задач будущего, среди которых и давно обсуждаемые проблемы.

Формирование системы обеспечения радиационной безопасности

Создание в 1946 году медицинской службы 1-го Главного управления при Совете Министров СССР, а затем

в 1947 году Третьего Главного управления при Минздраве СССР (ныне Федеральное медико-биологическое агентство (ФМБА России)) и базовых научных организаций – радиационной лаборатории (позже Институт биофизики с несколькими филиалами, а ныне Федеральное государственное бюджетное учреждение Государственный научный центр Федерального медицинского биофизического центра им. А.И. Бурназяна ФМБА России), Научно-исследовательского института радиационной гигиены (сегодня – ФБУН НИИРГ им. П. В. Рамзаева), а несколько позднее НИИ гигиены морского транспорта и Института медико-биологических проблем Минздрава СССР – сформировало фундамент научной поддержки РБ профессиональных работников, в том числе атомной отрасли, экипажей атомного флота, включая его оборонные компоненты, и участников космических полетов, а также населения, в том числе проживающего в районах расположения объектов использования атомной энергии (ОИАЭ) и в стране в целом. Практическую работу по РБ в атомной промышленности осуществляли медико-санитарные части и центры санэпиднадзора, а на остальной части страны – подразделения санитарных служб. Опытная научно-исследовательская станция на Южном Урале, а затем и ВНИИСХРАЭ в г. Обнинске отвечали за развитие научного потенциала в сельскохозяйственной радиологии. Существовавшая более столетия гидрометеорологическая служба осуществила работы по развертыванию системы

Линге Игорь Иннокентьевич

Институт проблем безопасного развития атомной энергетики

Адрес для переписки: 115191, Москва, Большая Тульская ул., д. 52; E-mail: linge@ibrae.ac.ru

контроля радиационной обстановки на территории страны. Завершающие шаги по формированию системы независимых научных организаций были сделаны уже после Чернобыля. Это создание в 1987 году Научно-технического центра по безопасности в атомной энергетике (сегодня – ФБУ «НТЦ ЯРБ») для решения задач научно-технической поддержки органа регулирования безопасности и нашего Института проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (далее – ИБРАЭ РАН), созданного распоряжением Совета Министров СССР от 3 ноября 1988 г. № 2198р, в целях расширения и углубления фундаментальных исследований, создающих основу для обеспечения безопасности атомной энергетики. Основная методология ИБРАЭ РАН — комплексный анализ безопасности атомных электростанций, включая ядерный топливный цикл, с использованием современных расчетных кодов.

На протяжении существования отрасли значительно менялись роли и приоритеты в сфере РБ. Не секрет, что в первые годы и десятилетия приоритет отдавался производственным задачам по созданию ядерного щита. С формированием современной системы регулирования безопасности при использовании атомной энергии ситуация радикальным образом изменилась. Органы регулирования стали в определенной степени ограничены только соблюдением регламентов рассмотрения и утверждения норм и правил, стали независимы от органов управления использованием атомной энергии в разработке норм и правил, регулирующих вопросы РБ. Единственным ограничением этой свободы осталась возможность своевременно возразить в рамках регламентов рассмотрения и утверждения норм и правил. Понятно, что это требование времени радикально изменило ситуацию и должно было способствовать соблюдению баланса между пользой,носимой атомной отраслью, и безопасностью населения.

Приверженность мировым тенденциям

Важно отметить, что с первых лет становления отрасли в научной базе вновь созданных организаций лежали не только собственные исследования и разработки, но и зарубежные данные, в том числе и непосредственная работа специалистов с мировым именем, среди которых были Н.В. Тимофеев-Ресовский, немецкие ученые К. Циммер и А. Кач. В последующие десятилетия ведущие ученые СССР и России активно участвовали в работе таких международных органов, как МКРЗ, НКДАР ООН. Среди них необходимо отметить таких ярких ученых, как П.В. Рамзаев, Л.А. Ильин, Р.М. Алексахин. В особой мере научное сотрудничество с зарубежными специалистами развернулось после аварии на Чернобыльской АЭС при реализации таких международных проектов, как Международный чернобыльский проект, проекты ТАСИС, Франко-германская инициатива для Чернобыля.

В целом, для истории обеспечения РБ в России было характерно следование мировым тенденциям в области нормирования. Это было эволюционное развитие подходов, подкрепленное нарастающим опытом в части РБ работников в атомной промышленности. Введение так называемых толерантных доз сопровождалось практическим нащупыванием допустимых суточных и недельных доз облучения. Переход к нормированию эквивалентной дозы состоялся уже в существенно лучших условиях радиационной обстановки. При этом пределы доз не всегда считались незыблеблемым догматом. Ярким примером взвешенного подхода стали исследования специалистов НИИРГ повышенного облучения оленеводов в западных районах Крайнего Севера вследствие глобальных выпадений в [2]. Изначальная идея рекомендации о переводе оленеводства в восточные районы была радикально пересмотрена после установления одинакового (на уровне порядка) загрязнения во всех районах Крайнего Севера. Важным обстоятельством этого исследования является употребление понятия опасности в кавычках с упоминанием того, что нет оснований для интерпретации присутствия в организме оленеводов ^{137}Cs на уровне 3-4 мКи как неприемлемого фактора риска. Примером иного рода являются аварийные ситуации, в которых просто требуется установление более высоких значений дозовых пределов, как это было после аварии на ЧАЭС. Переход к эффективной дозе, в рамках НРБ-96, также состоялся вследствие ориентации на международные подходы, несмотря на негативные последствия в части контроля внутреннего облучения персонала радиохимических производств. В настоящее время ситуация с профессиональным облучением работников атомной отрасли иначе как благополучной охарактеризована быть не может, поскольку средние годовые дозы облучения работников достаточно стабильны и лежат в диапазоне менее 1,5 мЗв [3]. Коллективная доза возрастает очень небольшими темпами, несмотря на ввод в эксплуатацию новых ОИАЭ и увеличение количества работников. А самое главное – случаи превышения допустимых пределов либо отсутствуют, либо носят единичный характер, что при количестве работников порядка 70 тыс. человек является рекордным показателем в сфере охраны труда. Можно констатировать, что создана надежная система, в рамках которой вопросы РБ регулярно рассматриваются на отраслевых совещаниях. При этом ситуация не является безоблачной, специалистами отрасли отчетливо сформулирован запрос [4] на приведение российской нормативно-правовой базы в соответствие международным подходам. Основным препятствием к этому является текущее состояние базового Федерального закона от 09.01.1996 № 3-ФЗ «О радиационной безопасности населения» (далее – ФЗ), который не дает возможности для пересмотра основных нормативных правовых актов, в первую очередь СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)»¹ и СП 2.6.1.2612-10 «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2009)»².

¹ СанПиН 2.6.1.2523-09. «Санитарные правила и нормативы. Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009» (утв. постановлением главного государственного санитарного врача РФ от 7 июля 2009 г. № 47). М., 2009. 100 с. [SanPiN 2.6.1.2523-09. "Sanitary rules and regulations. Radiation safety standards NRB-99/2009" (approved by the resolution of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation dated July 7, 2009, No. 47). Moscow; 2009. 100 p. (In Russ.)]

² СП 2.6.1.2612-10 «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010)», утвержденные Главным Государственным санитарным врачом Российской Федерации 26 апреля 2010 г. (зарегистрированы в Минюсте России 11 августа 2010 г., регистрационный № 18115). [SP 2.6.1.2612-10 "Basic Sanitary Rules for Ensuring Radiation Safety (OSPORB-99/2010)", approved by the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation on April 26, 2010 (registered with the Ministry of Justice of Russia on August 11, 2010, registration No. 18115) (In Russ.)]

Закон о радиационной безопасности и нормы радиационной безопасности

В настоящее время ФЗ представляет собой редкий феномен наиболее стабильного законодательного акта Российской Федерации. Несмотря на позиции различных сообществ и комиссий, заявленные 20 и более лет тому назад, закон остается неизменным в своих основных положениях. В конце прошлого десятилетия казалось, что согласие профессионального сообщества достигнуто. В особой мере это проявлялось в решениях Научно-технического совета № 10 «Экологическая и радиационная безопасность» Госкорпорации «Росатом» (далее – НТС) периода 2018–2022 гг. Важно, что в обсуждениях на НТС принимали активное участие специалисты предприятий отрасли, научных организаций Роспотребнадзора, ФМБА России и РАН. Выработка рационального подхода, предусматривавшего совместное решение задач модернизации НРБ и ФЗ (декабрь 2018 года), последовавшие за этим обсуждения состояния разработки НРБ (декабрь 2019 года), критическое рассмотрение проекта изменений, обсуждение нового законопроекта (октябрь 2021 года), работы над ним (июнь 2022 г.), фиксация предвестников прогресса в этой кропотливой работе (декабрь 2022 г.) закончились ничем, если не считать публикации проекта обновленного ФЗ и сопроводительного письма в Роспотребнадзор от 2022 года. В этой связи опять возникает вопрос о необходимости данного закона, который уже поднимался в 2002 году и обосновывался нашими специалистами в 2020 году [5]. Сегодня, когда основные заинтересованные организации Госкорпорации «Росатом», а это были, в первую очередь, организации, участвующие в сооружении АЭС за рубежом, основные свои проблемы решили, а иные – организации атомного энергопромышленного комплекса – уже привыкли к двойственному

статусу НРБ и ОСПОРБ, может сложиться впечатление, что застойное состояние вопроса уже перестало волновать специалистов, но это не так.

О производных показателях РБ

Издергки в части установления производных показателей РБ оказались еще большими, чем для основных пределов дозы. Наиболее интересная ситуация с радионуклидом ^{90}Sr , к которому, наравне с ^{137}Cs , было привовано основное внимание специалистов по обеспечению РБ фактически с самого начала использования атомных технологий. Следствием этого внимания стало огромное число работ в мировой научной литературе по физико-химическим свойствам соединений этих нуклидов, их поведению в окружающей среде и метаболизму в человеческом организме. Тем не менее, динамика изменений ПДК в воде в СССР и России (рис. 1) демонстрирует отсутствие выраженной преемственности. В наибольшей мере это проявилось при установлении так называемой стронциевой единицы в 1957 году после Кыштымской аварии. Её установление на значениях более «жестких», чем современные нормативы привело к увеличению доли бракеража сельхозпродукции и к неоправданному переселению жителей³. Указанные отличия в нормировании цезия и стронция сохранились до Чернобыльской аварии. Однако после аварии на ЧАЭС ситуация резко поменялась: начиная с НРБ-96 отличия в ПДК снизились с 30 до 2 раз. При расчете доз на население до настоящего времени в Российской Федерации не приняты рекомендации МАГАТЭ [7] и расчет ведется на критическую группу населения, хотя параллельно используются дозовые коэффициенты из этих рекомендаций для различных возрастных групп населения.

Для обсуждаемых радионуклидов эти коэффициенты приведены в таблице.

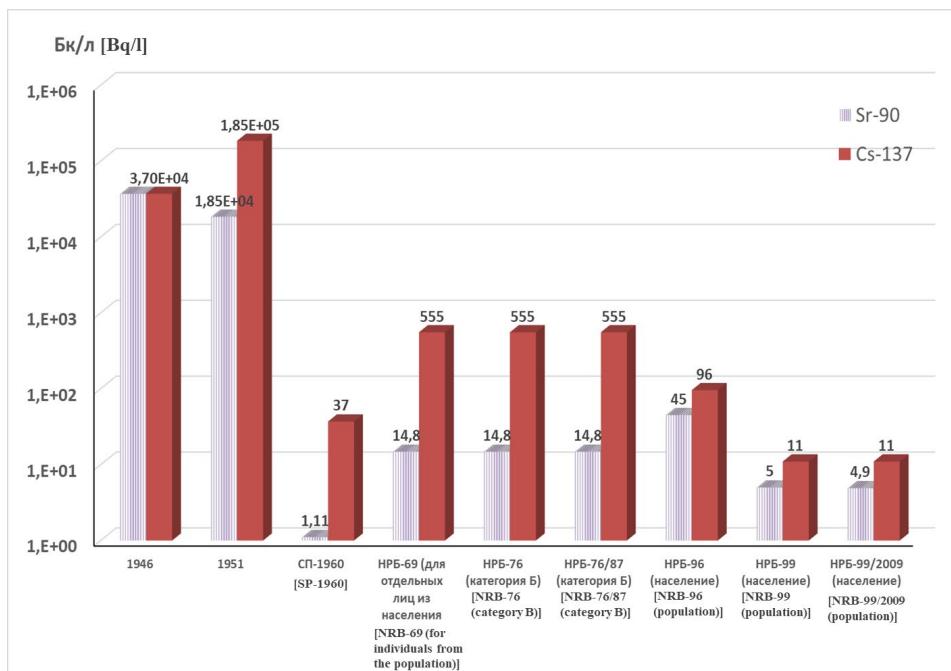


Рис. 1. Нормативы на ^{90}Sr и ^{137}Cs в питьевой воде в отечественных нормативных документах
[Fig. 1. Standards for ^{90}Sr and ^{137}Cs in drinking water according to domestic regulations]

³ СП-1960. Санитарные правила работы с радиоактивными веществами и источниками ионизирующих излучений. Министерство Здравоохранения СССР, Москва: Госатомиздат, 1960. [SP-1960. Sanitary Rules for Working with Radioactive Substances and Sources of Ionizing Radiation. USSR Ministry of Health, Moscow: Gosatomizdat; 1960 (In Russ.)]

Дозовые коэффициенты для различных возрастных групп при пероральном поступлении, Зв/Бк [6]

[Table]

Dose coefficients for different age groups in case of oral intake, Sv/Bq [6]

Нуклид [Nuclide]	Возрастная группа, годы [Age group, years]					
	< 1	1–2	2–7	7–12	12–17	> 17
⁹⁰ Sr	2,30E-07	7,30E-08	4,70E-08	6,00E-08	8,00E-08	2,80E-08
¹³⁷ Cs	2,10E-08	1,20E-08	9,60E-09	1,00E-08	1,30E-08	1,30E-08
⁹⁰ Sr/ ¹³⁷ Cs	11,0	6,1	4,9	6,0	6,2	2,2

Видно, что для старшей возрастной группы отношение дозовых коэффициентов идентично нормам радиационной безопасности – НРБ-99/2009. Но это находится в контрасте с декларируемой НРБ-99/2009 целью о том, что дозы оцениваются для критической группы населения. Хорошо видно, что как для ¹³⁷Cs, так и особенно для ⁹⁰Sr возрастная группа (более 17 лет) не является критической.

Последние годы мы живем обещаниями, что в новых НРБ также учат эти рекомендации наряду с некоторыми другими новациями, появившиеся еще в 103 Публикации МКРЗ [8].

Дозы облучения в сравнении с другими факторами воздействия на здоровье и дозовые ограничения при захоронении РАО

Доза облучения персонала и населения ежегодно публикуются в радиационно-гигиенических паспортах [8]. Несмотря на достаточно размытую и далеко не полную картину о радиационной ситуации в стране, основные тенденции явственно прослеживаются. Основная доза формируется за счет естественных источников облучения, существенна и имеет тенденцию к росту дозы от медицинского облучения, а дозы от техногенных источников неуклонно снижаются.

Что касается облучения населения природными источниками, то результаты выполнения ФЦП ЯРБ-1 показали исключительную пестроту значений, когда средние дозы для отдельных групп населения за счет радона доходили до нескольких десятков мЗв/год при среднем значении в 2 мЗв [8].

Стало понятным, чтобы существенно повлиять на эту составляющую радиационного воздействия на население, требуется разработка специального инструментария. Однако дальнейшее продолжение работ по ограничению облучения населения природными источниками, к нашему сожалению, не вошло в ФЦП ЯРБ-2.

Всем мире, в том числе и в нашей стране, все более широкое применение в медицине находят ядерные технологии. Понятно, что бессмысленно ограничивать лечебные процедуры по мощности дозы, тут все решает врач, но и учитывать эти дозы в общероссийской статистической отчетности, если и следует, то отдельно от массовых диагностических обследований.

Парадоксально, но именно в области ограничения самых маленьких по вкладу – техногенных – доз облучения ведется основная нормотворческая деятельность. С одной стороны, это вроде бы и понятно, производство электроэнергии демонстрирует неуклонное снижение дозовых нагрузок и на персонал, и, еще в большей степени, на население и дает возможность надзорным органам по различным мотивам ужесточать степень радиационного воздействия, не очень обращая внимание на другие факторы воздействия на здоровье населения. Именно о таком непропорциональном внимании говорил еще в 60-е годы П. В. Рамзаев [9] и ряд ведущих гигиенистов страны, но они не были услышаны; более того, ситуация все более усугубляется (см. рис. 2).



Рис. 2. Сравнение рисков воздействия техногенных факторов различной природы на здоровье жителей г. Ангарска [11]

[Fig. 2. Comparison of risks associated with anthropogenic factors of various origins for the Angarsk residents and their health [11]]

Видно, что тепловая энергетика, работающая на угле, оказывает на порядок большее только радиационное воздействие, чем предприятие атомной промышленности, но химические факторы многократно превышают риски радиационной природы.

В настоящее время в области нормирования химического воздействия параллельно действуют два подхода: нормирование по ПДК (предельно допустимая концентрация) и по риску. Между этими величинами существует разрыв в 6 порядков величины (рис. 3), с которым, по-видимому, надзорные органы не знают, что делать, и потому бездействуют.

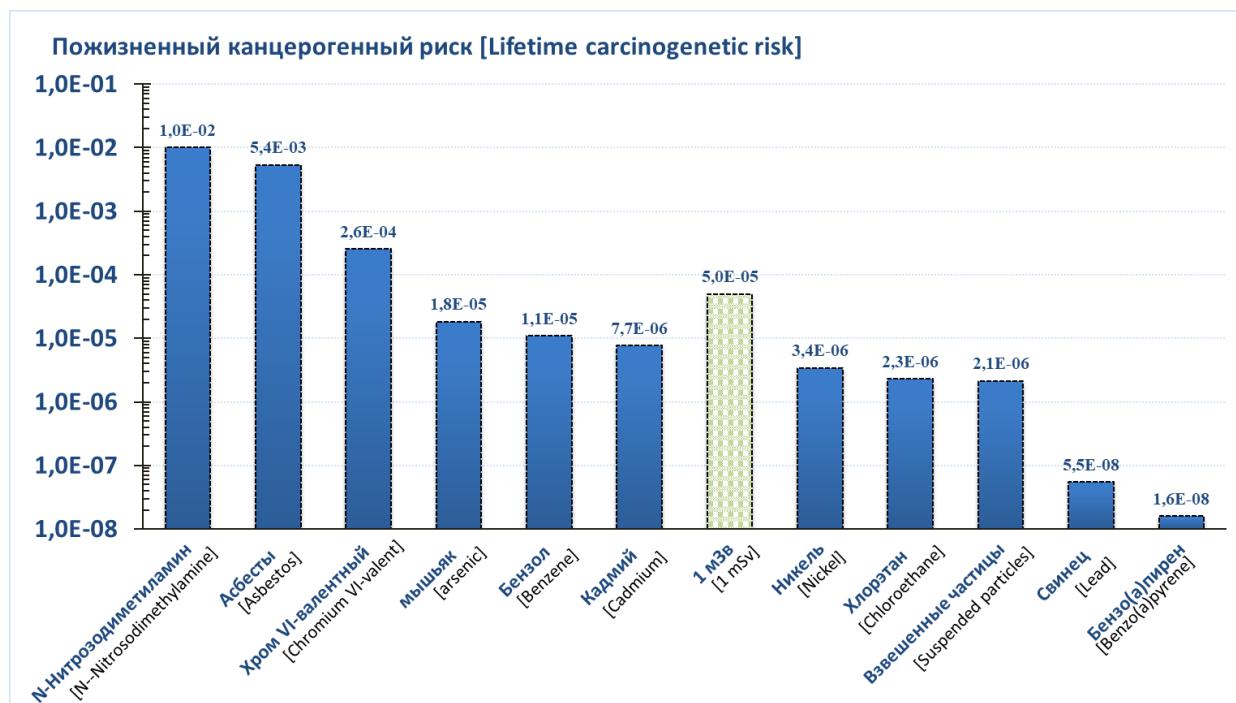


Рис. 3. Пожизненный канцерогенный риск ингаляционного воздействия при годовой экспозиции на уровне ПДК химических веществ в сравнении с радиационным фактором [12]

[Fig. 3. Lifetime carcinogenic risk of inhalation exposure with annual exposure at the MPC level of chemicals in comparison with the radiation factor [12]]

Между прочим, основной дозовый предел как фактор канцерогенного воздействия по действующим завышенным оценкам риска находится посередине всего диапазона канцерогенов. Можно также обратить внимание, что «общественно значимые» канцерогены, такие как свинец и бенз(а)пирен имеют самые жесткие ПДК. Здесь явно прослеживается влияние формируемого информационного поля, которое, как мы знаем, в немалой степени затрагивает и радиационный фактор.

О дозовых критериях применительно к эксплуатируемым ОИАЭ можно сказать, что они не только обеспечивают безопасность населения с большим запасом, но и позволяют конкурировать на мировом рынке. В топливно-энергетическом комплексе помимо норм существует достаточно эффективный контроль за реальным облучением персонала и населения. И как уже было отмечено, реальные дозы, даже оцененные консервативно, существенно ниже нормативных величин.

Вместе с тем, как уже неоднократно отмечалось [11], остается проблема, связанная с отсутствием четко выработанных критериев применительно к необходимости проведения реабилитации, а также критерии завершения работ по выводу из эксплуатации ОИАЭ, что создает практические трудности при ранжировании радиационно загрязненных территорий, планировании и проведении практических мероприятий, число которых неуклонно растет. Реабилитация,

на наш взгляд, всегда адресована ситуации существующего облучения, в которой, согласно Международным основным стандартам безопасности [6], принятие решений лежит в диапазоне доз облучения 1–20 мЗв/год. Международная комиссия по радиологической защите в Публикации 103 МКРЗ [7] рекомендует, чтобы в ситуациях существующего облучения референтные уровни, установленные по индивидуальной дозе, использовались в сочетании с внедрением процесса оптимизации. На практике у нас до настоящего времени придерживаются исключительно принципа ограничения дозовых пределов, которые жестче основного предела доз.

Радиоактивные отходы (РАО) и дозы облучения при захоронении РАО

В отношении РАО нам представляются безусловно справедливыми как минимум два тезиса. Первый: атомная энергетика уже доказала свою высокую, но не абсолютную безопасность [14], но в любой конфигурации (открытый и закрытый ядерный топливный цикл) она будет генерировать радиоактивные отходы. Состав отходов будет разным: в случае открытого топливного цикла – отработавшее ядерное топливо и РАО, а при закрытом топливном цикле – только РАО. Их цивилизованное захоронение обеспечит радиационную и экологическую безопасность населения в существенно большей степени, чем при использовании иных источников энергии. Второй: историческая роль радиационной гигиены

в обеспечении персонала при обращении с РАО глубоко положительна, но полной синхронизации действий в отношении развития Единой государственной системы обращения с РАО (ЕГС РАО) пока не достигнуто [14]. Приведем несколько примеров.

Во-первых, это критерии отнесения к РАО. Научно необоснованные предложения по критериям отнесения к РАО, содержащиеся в ОСПОРБ-99, ушли в прошлое. Некоторые из огрехов первых критериев, установленных уже в 2012 году, в рамках ЕГС РАО также устраниены. Но действующие и до, и после 1 января 2024 года критерии отнесения отходов к РАО также являются чрезвычайно упрощенными. В первую очередь это касается отходов, содержащих очень короткоживущие радионуклиды, в отношении которых постановка вопроса о захоронении и даже классификации их как РАО более чем проблематична. В этом же ряду вопросы обращения с радиоактивными материалами, образующимися при применении радиофармпрепаратов и ряд иных [15]. Не менее интересна ситуация с критериями отнесения газообразных отходов к РАО. Их установление на уровне допустимой объемной активности в воздухе для населения ($\text{ДОА}_{\text{нac}}$) не дает никаких решений для практики обращения, но порождает коллизии, которые по какой-то причине остаются за рамками объективной оценки. Попытки резкого снижения уровня отнесения твердых отходов к РАО также предпринимались и в 2012 году, и в период 2019–2020 гг. Критерии классификации РАО для захоронения, установленные в 2012 году, имели выраженные дефекты, связанные с природой происхождения численных значений удельной активности. Предназначенные для обеспечения радиационной безопасности персонала они были механически перенесены для задачи обеспечения безопасности захораниваемых РАО, что принципиально неправильно, поскольку они обрекали на захоронение короткоживущих РАО в пунктах захоронения с барьерами безопасности, обеспечивающими изоляцию на сотни и тысячи лет. Важно, что эту ошибку удалось частично исправить, новые критерии классификации РАО для захоронения вступили в силу 1 января 2024 года. Перечень различного рода шероховатостей, характерных для документов радиационно-гигиенического нормирования, хорошо известен и неоднократно обсуждался [16].

Остановимся только на вопросе ограничения допустимого радиационного воздействия при захоронении РАО. Публикация 103 МКРЗ [7] и нормы безопасности МАГАТЭ [6] рекомендуют для захоронения РАО следующие значения граничных доз: 0,3 мЗв/год для базовых сценариев и 5 мЗв для альтернативных. Речь идет о дозах не только на современные поколения людей, но и на облучение предполагаемого населения через сотни тысяч лет, а согласно некоторым нашим нормам, и через миллионы лет, когда существование самой планеты будет находиться под большим вопросом. При этом вводятся ограничения более серьезные, чем для ныне живущих поколений. Разумного объяснения этому нет. Принципы обоснования, рекомендуемые международным сообществом и закрепленные в наших отечественных НРБ, полностью игнорируются. И вот уже отталкиваясь от так и не получившего научного обоснования основного дозового предела в 5 мЗв за 5 лет, появляются новые нормы в 10 и в 100 раз более жесткие, за которыми стоит не глубокое научное обоснование, а чистый волюнтаризм, прикрытый якобы гуманистическими началами.

Говоря о дозах облучения человека при захоронении РАО, следует отметить, что тематику безопасности захоронения РАО мы неоднократно и детально рассматривали, поскольку ИБРАЭ РАН определен научным руководителем по глубинному и приповерхностному захоронению РАО классов 1–4. Проблемность темы обусловлена многими сложными вопросами, в том числе уровнем доверия к долгосрочным прогнозам [17]; но есть вопросы более простого порядка, в том числе из области гигиенических правил. Они, в первую очередь касаются пункта 3.12.19. ОСПОРБ, согласно которому годовая эффективная доза облучения критической группы населения за счет РАО после их захоронения не должна превышать 0,01 мЗв. Несмотря на простоту вопроса о правомерности подобного требования упомянем, что защита будущих поколений – это принципиальная экологическая норма, имеющая свою формулировку и в применении к тематике захоронения РАО в статье 1 Объединенной конвенции [19]. Конкретно в ней указано, что конвенция предназначена обеспечить «защиту отдельных лиц, общество в целом и окружающую среду от вредного воздействия ионизирующих излучений в настоящее время и в будущем таким образом, чтобы нужды и чаяния нынешнего поколения удовлетворялись без ущерба для возможности будущих поколений реализовывать свои нужды и чаяния». Наши представления о далеком будущем вполне туманны, следствием чего в сценарном плане доминирует представление о фермере, ведущем натуральное хозяйство. С учетом изложенного возникает вопрос – должен ли такой фермер быть более защищенным, чем нынешнее поколение. И не нужно ли для таких требований предполагать два сценария эволюции объекта захоронения. По нашему убеждению – да, мы не должны накладывать чрезмерные требования к объектам захоронения РАО в ущерб нынешнему поколению и должны ориентироваться на сценарии нормальной эксплуатации (для ПЗРО это базовый сценарий эволюции) и аварии (для ПГЗРО это альтернативные сценарии). В будущем, в случае захоронения РАО наиболее тяжелые последствия связаны с альтернативными сценариями с вмешательством в систему захоронения. Именно этот подход и реализуется в международной практике, где для случая развития альтернативного сценария ограничения по годовой эффективной дозе облучения критической группы населения лежат в диапазоне от ≈ 5 до 100 мЗв [21], то есть на уровне в 500 – 10000 раз более высоком, чем предусмотрено ОСПОРБ. Отсутствие дискуссий по этому вопросу в предшествующие десятилетия связано исключительно с отсутствием практики создания пунктов захоронения. Теперь, когда ситуация принципиально изменилась, обсуждаемую норму необходимо менять и переходить к дифференцированному подходу, в том числе более аккуратному, чем рекомендуется на международном уровне. Причины этого просты – в Российской Федерации накопленных и до настоящего времени не захороненных РАО больше всех в мире. И создавать препятствия для их захоронения более чем странно. Поэтому целесообразно использование дозового ограничения как минимум в 1 мЗв/год на период, когда имеющиеся неопределенности по моделируемым процессам незначительны (до ~ 300 лет) и порядка 10 мЗв/год на более долгосрочный период для базового сценария эволюции ПЗРО. На более долгосрочный период для альтернативных сценариев целесообразно остановиться на еще больших величинах, вплоть до 100 мЗв.

Заключение

Гигиенические регламенты сыграли решающую роль в становлении системы РБ в промышленности и эволюционном повышении РБ населения. В настоящее время дозы облучения профессиональных работников и населения, обусловленные эксплуатацией ОИАЭ, в подавляющем большинстве случаев находятся в комфортном диапазоне 2-3 кратного запаса от установленных пределов, а случаи превышения единичны.

Общее состояние дел в сфере обеспечения РБ нельзя признать благополучным по нескольким причинам:

1. Базовый закон о РБ, равно как и вся система нормативных документов, нуждаются в модернизации. Наиболее заинтересованные стороны в этой модернизации – службы РБ и специалисты атомной отрасли.

2. При условном благополучии в сфере РБ при использовании атомной энергии, иные компоненты облучения – облучение от радона и его дочерних продуктов и от медицинских диагностических процедур – занимают все большую долю в структуре облучения населения (первая – скорее вследствие полноты оценки, вторая – за счет фактического роста). Задача предотвращения этого процесса, то есть роста абсолютных доз облучения населения России, существенно сложнее решаемых задач по предотвращению облучения от объектов наследия и действующих производств атомной энергетики и промышленности. Она требует системных мер в области градостроительной деятельности и здравоохранения, которые необходимо выработать. Возможно, помогут и меры информационного характера. Ими могли бы стать национальные наставления по РБ, изложенные от максимально широкого круга специалистов в максимально доступной форме.

3. В сфере регламентации облучения от ОИАЭ осталось совсем немного проблемных зон, среди которых есть очень простые по способам решения (среди них все вопросы обращения с РАО) и лишь несколько предельно сосредоточенных по производствам и методам решения (внутренне облучение на новых производствах, облучение хрусталика глаза и пр.), которые могут быть частично решены в короткие сроки, но полностью – только при существенном снижении участия человека в производственных процессах за счет автоматизации и роботизации.

4. Десятилетия существовавшая многобарьерная граница между деятельностью по обеспечению РБ работников отдельных отраслей и проживающего вблизи ОИАЭ населения и основного населения страны становится все более призрачной. Это создает предпосылки для более тесного сотрудничества специалистов Роспотребнадзора, ФМБА и иных заинтересованных организаций.

Сведения о личном вкладе авторов в работу над статьей

Большов Л.А. – разработка концепции статьи и её разделов по рассмотрению проблематики на НТС № 10 «Экологическая и радиационная безопасность» Госкорпорации «Росатом», согласие принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Линге И.И. – написание разделов статьи в части текущих уровней состояния радиационной безопасности, общее редактирование.

Панченко С.В. – сбор и систематизация данных и напи-

сание фрагментов по историческим аспектам радиационной безопасности.

Информация о конфликте интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Сведения об источнике финансирования

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Литература

1. Большов Л.А., Арутюнян Р.В., Линге И.И., Абалкина И.Л. Ядерные аварии: последствия для человека, общества и энергетики // Радиационная гигиена. 2016. Т. 9, № 3. С. 43–52. DOI: 10.21514/1998-426X-2016-9-3-43-52.
2. Избранные материалы «Бюллетеня радиационной медицины». М.: ФГБУ ГНЦ ФМБА им. А. И. Бурназяна ФМБА России, 2016. С. 70–76.
3. Панфилов А.П. Исторические аспекты создания и развития основных объектов атомной отрасли страны. Радиационное воздействие на персонал в разные периоды времени // Журнал «АНРИ». 2020. № 3. С. 3–25. DOI: 10.37414/2075-1338-2020-102-3-3-25.
4. Решение отраслевого научно-практического семинара «Радиационная безопасность в атомной отрасли 28.07.2025-1.08.2025». Иркутск: Письмо Госкорпорации «Росатом» от 01.08.2025.
5. Веденникова М.В., Линге И.И., Панченко С.В. и др. Актуальные вопросы внесения изменений в Федеральный закон от 9 января 1996 г. № 3-ФЗ «О радиационной безопасности населения». Препринт № IBRAE-2020-03. М.: ИБРАЭ РАН, 2020. 22 с. ISBN 978-5-6041296-5-4.
6. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. № GSR Part 3. Vienna: IAEA, 2014. 471 р.
7. Публикация 103 МКРЗ. Рекомендации 2007 года Международной комиссии по радиационной защите. М.: 2009. 343 с.
8. Радиационная обстановка на территории Российской Федерации в 2023 году. Справочник. Санкт-Петербург, 2024.
9. Романович И.К. Актуальные задачи радиационной гигиены в свете итогов ФЦП ЯРБ. Материалы юбилейной X Российской научной конференции «Радиационная защита и радиационная безопасность в ядерных технологиях». М.: 2015. С. 97–110.
10. Бурназян А.И. Рамзаев П.В., Моисеев А.А. Перспективы радиационной гигиены // Гигиена и санитария. 1969. № 10. С. 8–14.
11. Аракелян А.А. Комплексный метод обоснования радиационной безопасности и экологической приемлемости объектов ядерной техники. Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. М., 2024. С. 144.
12. Панченко С.В., Новиков С.М., Шашина Т.А., Аракелян А.А. Ранжирование радиационных и химических рисков для здоровья населения, проблемы и пути решения. «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность–2018». Сборник статей междунар. науч.-практ. конф. 24 – 27 сентября 2018 г. Севастополь, 2018. 1315 с.
13. Абалкина И.Л., Панченко С.В., Савкин М.Н. и др. Социально и экологически приемлемые критерии реабилитации загрязненных территорий пунктов размещения особых радиоактивных отходов // Вопросы радиационной безопасности. 2017. № 3. С. 46–52.
14. Линге И.И., Уткин С.С. Радиационные и экологические аспекты атомной энергетики будущего // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2021. Т. 66. № 5. С. 113–121. DOI: 10.12737/1024-6177-2021-66-5-113-121.

15. Линге И.И. О роли вопросов радиационной гигиены в развитии системы обращения с радиоактивными отходами. В сборнике: Актуальные вопросы радиационной гигиены. материалы всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Санкт-Петербург, 2023. С. 198–202.
16. Наркевич Б.Я. Актуальные вопросы обращения с радиоактивными отходами в ядерной медицине // Радиоактивные отходы. 2022. № 1 (18). С. 28–37. DOI: 10.25283/2587-9707-2022-1-28-37.
17. Линге И.И. О рационализации систем обращения с РАО и обеспечения радиационной безопасности // Радиоактивные отходы. 2023. № 2 (23). С. 21–34. DOI: 10.25283/2587-9707-2023-2-21-34.
18. Абалкина И.Л., Большов Л.А., Капырин И.В. и др. Обоснование долговременной безопасности захоронения ОЯТ и РАО на 10 000 и более лет: методология и современное состояние. Препринт ИБРАЭ № 2019-03. М: ИБРАЭ РАН, 2019. 40 с.
19. Объединенная конвенция о безопасности обращения с отработавшим топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами. Вена, 5 сентября 1997 г. С. 42. URL: (https://www.iaea.org/sites/default/files/infirc546_rus.pdf). (Дата обращения 22.10.2025).
20. Radiological Protection in Geological Disposal of Long-Lived Solid Radioactive Waste. ICRP Publication 122 // Annals of the ICRP. 2013. Vol. 42, No 3.

Поступила: 29.09.2025

Большов Леонид Александрович – академик Российской академии наук, профессор, доктор физико-математических наук, научный руководитель, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук, Москва, Россия

Линге Игорь Иннокентьевич – доктор технических наук, советник, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук. **Адрес для переписки:** 115191, Москва, Большая Тульская ул., д. 52; E-mail: linge@ibrae.ac.ru

ORCID: 0009-0004-3206-8752

Панченко Сергей Владимирович – старший научный сотрудник, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук, Москва, Россия

ORCID: 0000-0002-2750-0940

Для цитирования: Большов Л.А., Линге И.И., Панченко С.В. 80 лет атомной промышленности и роль радиационной гигиены // Радиационная гигиена. 2025. Т. 18, № 4. С. 162–170. DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-4-162-170

80 years of nuclear industry and the role of radiation hygiene

Leonid A. Bolshov, Igor I. Linge, Sergey V. Panchenko

Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

This overview article examines the key milestones in the development of an effective system for radiation safety in Russia covering all aspects of modern life, including through the establishment of independent scientific organizations. Evolution of nuclear industry and the development of radiation safety requirements proceeded in parallel drawing both on national research and development and, of course, global trends and recommendations in the field of standardization. Today, it can be confidently stated that Russia operates a reliable system providing radiation safety of people. Actual doses, even when estimated conservatively, are much lower than the regulatory limits. However, certain revision of some key regulations in line with the latest international approaches is required to enhance the competitiveness of nuclear industry, which is hindered by the requirements of the Federal Law No. 3-FZ On Radiation Safety of January 9, 1996 no longer corresponding to present day developments. Despite numerous publications and studies, some issues remain unresolved regarding both the establishment of derived radiation safety indicators and the fundamental dose limits. Another persisting problem is related to the lack of clearly defined criteria based on which the necessity of site remediation can be declared, as well as end-state criteria for decommissioned nuclear legacy facilities. Russia still adheres to the principle of dose limits that are stricter than the basic dose limit even in case of existing exposure. This article addresses the problem of the annual effective dose limit set for the critical group of population in the context of radioactive waste disposal; the limit is between 500 and 10,000 times lower than the one recommended by international organizations. This, in turn, hinders the development of an

Igor I. Linge

Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences

Address for correspondence: 52, Bolshaya Tulskaya Str., Moscow, 115191, Russia; E-mail: linge@ibrae.ac.ru

effective waste disposal system, slows down the construction of disposal facilities and the decommissioning of legacy facilities.

Key words: radiation safety, radiation doses, radioactive waste disposal, effective dose limit.

Authors' personal contribution

Bolshov L.A.developed the article concept and its sections on the topic at Scientific and Technical Council No. 10 "Environmental and Radiation Safety" of the Rosatom State Corporation; agreed to assume responsibility for all aspects of the work.

Linge I.I. wrote the article sections on current radiation safety levels; provided general editing.

Panchenko S.V. collected and systematized data and wrote sections on the historical aspects of radiation safety.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interest.

Sources of funding

The study had no sponsorship.

References

1. Bolshov LA, Arutyunyan RV, Linge II, Abalkina IL. Nuclear Accidents: Consequences for Human, Society and Energy Sector. *Radiatsionnaya gygiена = Radiation Hygiene*. 2016;9(3): 43–52. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2016-9-3-43-52.
2. Selected Materials of the Bulletin of Radiation Medicine. Moscow: A.I. Burnasyan FMBC Publ.; 2016. P. 70–76. (In Russian).
3. Panfilov A. Historical Aspects of the Creation and Development of the Main Facilities of the Country's Nuclear Industry. Radiation Exposure to Personnel in Different Time Periods. *ANRI = ANRI*. 2020;3: 3–25. (In Russian).
4. Decision of the industry scientific and practical seminar "Radiation Safety in the Nuclear Industry" 28.07.2025-1.08.2025. Irkutsk: Letter of the State Corporation Rosatom dated 01.08.2025. (In Russian).
5. Vedernikova MV, Linge II, Panchenko SV, Strizhova SV, Supotaeva OA, Utkin SS. On the issue of amendments to the Federal Law of January 9, 1996 No.3-FZ "On radiation safety of population". (Preprint Nuclear Safety Institute RAS, № IBRAE-2020-03). Moscow: Nuclear Safety Institute RAS; 2020. 22 p. ISBN 978-5-6041296-5-4. (In Russian).
6. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. № GSR Part 3. Vienna: IAEA; 2014. P. 471.
7. ICRP. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. *Annals of the ICRP*. 2007;37(2-4). (In Russian).
8. Radiation Situation in the Russian Federation in 2023. Handbook. St. Petersburg; 2024. (In Russian).
9. Romanovich IK. Actual Tasks in Radiation Hygiene in the Context of FTP NRS Results. Proceeding of the Jubilee X Russian Scientific Conference «Radiation Protection and Radiation Safety in Nuclear Technologies». Moscow; 2015. P. 97–110. (In Russian).
10. Burnazyan AI, Ramzaev PV, Moiseev AA. Prospects for Radiation Hygiene. *Gigiena i sanitariya = Hygiene and Sanitation*, 1969;10: 8-14. (In Russian).
11. Arakelyan AA. A Comprehensive Method for Safety assessment the Radiation Safety and Environmental Acceptability of Nuclear Facilities. A PhD dissertation. Moscow; 2024. P. 144. (In Russian).
12. Panchenko SV, Novikov SM, Shashina TA, Arakelyan AA. Ranking of radiation and chemical risks to public health, problems and solutions. "Environmental, industrial and energy safety - 2018". Collection of articles from the international scientific and practical conference, September 24-27, 2018. Sevastopol; 2018. 1315 p. (In Russian).
13. Abalkina IL, Panchenko SV, Savkin MN, Vedernikova MV, Kryshev II. Socially and Ecologically Acceptable Criteria for Remediation of Contaminated Areas of Non-Retrievable Waste Facilities. *Voprosy radiatsionnoi bezopasnosti = Journal of Radiation Safety Issues*. 2017;87(3): 46–52. (In Russian).
14. Linge II, Utkin SS. Radiation and Environmental Aspects of Advanced Nuclear Energy. *Meditinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost = Medical Radiology and Radiation Safety*. 2021;66(5): 113-121. (In Russian). DOI: 10.12737/1024-6177-2021-66-5-113-121.
15. Linge II. On the Role of Radiation Hygiene in the Development of Radioactive Waste Management Systems. In: Current Issues in Radiation Hygiene. Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation. St. Petersburg; 2023. P. 198-202. (In Russian).
16. Narkevich BYa. Current Radioactive Waste Management Challenges in Nuclear Medicine. *Radioaktivnye otkhody = Radioactive Waste*. 2022;1(18): 28–37. (In Russian). DOI: 10.25283/2587-9707-2022-1-28-37.
17. Linge II. Streamlining RW management and radiation safety systems. *Radioaktivnye otkhody = Radioactive Waste*. 2023;2(23): 21–34. (In Russian). DOI: 10.25283/2587-9707-2023-2-21-34.
18. Abalkina IL, Bolshov LA, Kapyrin IV, Linge II, Saveleva EA, Svitelman VS, et al. Radioactive waste and spent nuclear fuel deep geological disposal long-term safety assessment for 10 000 years and over: methodology and current state. Preprint IBRAE-2019-03. Moscow: Nuclear Safety Institute; 2019. 40 p. (In Russian).
19. Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management. International Atomic Energy Agency. Vienna; 1997. P. 36. Available from: https://www.iaea.org/sites/default/files/infci_rc546.pdf [Accessed October 22, 2025]. (In Russian).
20. Radiological Protection in Geological Disposal of Long-Lived Solid Radioactive Waste. ICRP Publication 122. *Annals of the ICRP*. 2013;42(3).

Received: September 29, 2025

Leonid A. Bolshov – Member of the Russian Academy of Sciences, Professor, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Head of Research, Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

For correspondence: Igor I. Linge – Doctor of Technical Sciences, Adviser, Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences (52, Bolshaya Tulskaya str., Moscow, 115191, Russia; E-mail: linge@ibrae.ac.ru)

ORCID: 0009-0004-3206-8752

Sergey V. Panchenko – Senior Researcher, Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
ORCID: 0000-0002-2750-0940

For citation: Bolshov L.A., Linge I.I., Panchenko S.V. 80 years of nuclear industry and the role of radiation hygiene. *Radiatsionnaya Gygiена = Radiation Hygiene*. 2025. Vol. 18, No. 4. P. 162–170. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-4-162-170