DOI: 10.21870/0131-3878-2018-27-2-117-140

УДК 621.311.25:621.039.58:614.876

Риск-ориентированный подход к анализу безопасного проживания вблизи объектов атомной энергетики. Обзор

Арутюнян Р.В.¹, Грачёв В.А.²

¹ ИБРАЭ РАН, Москва;

² Госкорпорация «Росатом», Москва

В настоящее время развитию атомной энергетики как экологически «чистой» и экономически выгодной отрасли уделяется большое внимание. Для обеспечения безопасного проживания населения вблизи объектов атомной энергетики важная роль отводится экологической экспертизе безопасности, которую необходимо проводить на всех стадиях – проектирования, строительства, эксплуатации и вывода объектов из эксплуатации. Наиболее эффективным научным подходом к оценке последствий техногенного воздействия и управлению экологической безопасностью признаётся риск-ориентированный подход, основанный на анализе рисков для здоровья населения, который позволяет сравнивать последствия воздействия разных по природе факторов. Результаты оценок риска для здоровья являются обязательным элементом экологической экспертизы проектов нового строительства, реконструкции действующего производства и реабилитации загрязнённых территорий в США и странах Западной Европы. Эта методология занимает всё более прочное место и в России. Анализ современных гигиенических нормативов показывает, что химическое воздействие в ряде случаев нормировано менее жёстко, чем радиационное. Представленный в обзоре анализ канцерогенного риска от воздействия радиационных и других факторов внешней среды, а также влияние различных внешних факторов на здоровье населения, проживающего вблизи Ленинградской и Нововоронежской АЭС и в городе Ангарске, показал, что риски от воздействия радиационных факторов пренебрежимо малы (10^{-6}) и значительно ниже рисков от воздействия других вредных факторов.

Ключевые слова: *радиационный риск, риск-ориентированный подход, канцерогенный риск, химический риск, доза облучения, выбросы предприятий, индивидуальный риск, приемлемый риск, целевой риск, пренебрежимый риск, Ленинградская АЭС, Нововоронежская АЭС, предприятия Ангарска.*

В общественном сознании радиация воспринимается неким негативным фактором, сопутствующим атомной отрасли. Большой вклад в формирование подобного представления, безусловно, внесла авария в США в 1979 г., на Чернобыльской АЭС в 1986 г., а затем и авария на Фукусиме (Япония) в 2011 г.

Вопросам оценки техногенного воздействия на окружающую среду и здоровье человека уделяется особое внимание с 80-х годов прошлого века. Одним из инструментов, позволяющим осуществлять такой анализ, является методология оценки риска, применение которой позволяет получать количественные характеристики возможного ущерба здоровью, сравнивать последствия воздействия разных по своей природе факторов (например, радиационных и химических), определять приоритетные источники и факторы риска, разрабатывать меры по их наиболее эффективному снижению. Методология анализа риска успешно используется в экономически развитых странах мира при принятии управленческих решений в области охраны здоровья человека и окружающей среды.

Исследованием радиационных рисков занимаются во всём мире. В России деятельность по разработке концепций, рекомендаций и нормативно-методических документов в области радиационной безопасности человека, в том числе на основе риск-ориентированного подхода,

Арутюнян Р.В.* – зам. директора по научной работе и координации перспективных разработок ИБРАЭ РАН, д.ф.-м.н., проф.; Грачёв В.А. – советник генерального директора Госкорпорации «Росатом», чл.-корр. РАН, проф.

*Контакты: 115191, Москва, Большая Тульская ул., 52. Тел.: (495) 955-22-09 (484); e-mail: arut@ibrae.ac.ru.

ведёт Российская научная комиссия по радиологической защите (РНКРЗ) [1, 2]. Среди международных организаций необходимо отметить Научный комитет ООН по действию атомной радиации (НКДАР ООН) [3], Международную комиссию по радиологической защите (МКРЗ), Национальный совет по радиационной защите и измерениям США [4], Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ) [5].

Анализ вероятностей события риска при использовании атомной энергии [6] и сравнительная оценка воздействия энергогенерирующих систем на окружающую среду и здоровье человека [7] свидетельствуют о том, что вклад объектов ядерной энергетики при нормальной эксплуатации пренебрежимо мал по сравнению с рисками от других радиологических факторов, таких как диагностические и терапевтические радиологические процедуры. Однако, вопрос здоровья населения остаётся актуальным, несмотря на то, что профессиональная патология в городах, связанных с атомной отраслью, ниже, чем по России в целом, при том, что уровень диагностики в этих городах значительно выше. В 10 закрытых административно-территориальных образованиях (ЗАТО) атомной отрасли на медицинском обслуживании состоит более 747000 человек. Медицинское обслуживание осуществляет более 40000 человек медперсонала.

В местах расположения объектов атомной энергетики и промышленности располагаются и другие объекты, оказывающие отрицательное влияние на окружающую среду. Одним из таких городов является Ангарск. В обзоре представлен сравнительный анализ влияния радиационных и других внешних факторов на риск развития рака, экологическую безопасность вблизи Ленинградской и Нововоронежской АЭС и в городе Ангарске.

В настоящее время наиболее эффективным научным подходом к оценке последствий техногенного воздействия и управлению экологической безопасностью признаётся подход, основанный на анализе рисков для здоровья населения. Методология анализа риска с 80-х годов прошлого века успешно используется в США и странах Западной Европы при принятии управленческих решений в области охраны здоровья человека и окружающей среды. Применение этой методологии позволяет получать количественные характеристики возможного ущерба здоровью, сравнивать последствия воздействия разных по своей природе факторов (например, радиационных и химических), определять приоритетные источники и факторы риска, разрабатывать меры по их наиболее эффективному снижению. Эта методология использована при разработке современных международных норм радиационной безопасности, сформулированных МКРЗ. Она положена в основу национальных систем обеспечения радиационной безопасности ведущих ядерных держав, в том числе и России.

Правовой базой применения методологии анализа риска в РФ является постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 10.11.1997 г. № 25 и Главного государственного инспектора Российской Федерации по охране природы от 10.11.1997 г. № 03-1924-3483 «Об использовании методологии оценки риска для управления качеством окружающей среды и здоровья населения в Российской Федерации». За прошедшие годы проведена большая работа по адаптации и апробации этой методологии на территории страны, которая подтвердила высокую эффективность данного метода оценки влияния на здоровье.

Мы живём в естественно радиоактивной среде и являемся частью этой среды. Природные радионуклиды уран-ториевого ряда присутствуют в костях, мышцы содержат радиоактивный углерод и калий, а в лёгкие поступают радиоактивные вещества, присутствующие в воздухе. Мы подвергаемся воздействию излучения, приходящего из космоса и недр земли (рис. 1).

Дозы облучения населения за счёт работы предприятий атомной промышленности ниже 0,01 мЗв/год [8] при допустимой дозе в 1 мЗв/год [9].

Индивидуальные дозы облучения от техногенных источников радиации могут сильно различаться. Например, экипажи воздушных судов, которые значительную часть своей трудовой жизни проводят на высотах, где уровень космического излучения в 20 раз выше, чем на Земле, в течение года получают дозу облучения в несколько мЗв. Эта доза сопоставима со средним значением индивидуальной дозы облучения персонала АЭС в год. Космонавты за год полёта получают дозу примерно 200 мЗв.

Рис. 1. Дозы облучения населения России от разных источников.

Средняя доза внешнего облучения людей от радионуклидов земного происхождения составляет примерно 350 мкЗв/год. Для жителей Белоруссии, Украины и областей средней полосы европейской части России эта величина изменяется от 100 до 500 мкЗв/год.

В то же время есть и такие территории, где уровни радиации намного выше. Например, в Бразилии в небольшом курортном городке Гуарапары с населением 12000 человек среднегодовая доза для населения составляет свыше 5,5 мЗв, а на некоторых пляжах достигает 175 мЗв, что примерно в 500 раз больше среднего уровня. Высокий уровень радиации объясняется очень просто – городок стоит на песках, богатых торием. На планете существует немало подобных территорий с уровнями естественного радиационного фона значительно выше среднего (рис. 2). Более того, совместные исследования учёных Индии и Японии населения, проживающего на территории с высоким радиационным фоном в штате Керала (Индия), показали, что в диапазоне доз от 1,5 до 14,4 мЗв/год коэффициент избыточного относительного радиационного риска заболеваемости раком $ERR/Gr=0,13$ [10], что существенно меньше, чем для японской когорты лиц, кратковременно облучённых в дозах около 0,2 Гр ($ERR/Gr=0,63$) [11] (рис. 2).

Прежде чем попасть в организм человека радиоактивные вещества проходят сложный путь в окружающей среде. Часть из них остаётся в почве, часть переходит в растения, а затем в животных, часть растворяется в воде. То количество радиоактивных веществ, которое поступает в организм человека с водой и пищей, создаёт дозу облучения в среднем 300 мкЗв/год. В зависимости от диеты человека и местных условий доза может немного отличаться, но для большинства людей она лежит в диапазоне от 200 до 400 мкЗв/год. Эта доза естественной радиоактивности является безопасной для нормального развития человека и поколений людей [9].

Рис. 2. Территории с высокими значениями естественного радиационного фона на карте мира.

Наиболее значительным из всех естественных источников радиации является радиоактивный газ радон. Вместе со своими дочерними продуктами радиоактивного распада радон даёт примерно половину дозы от естественных источников радиации. Большую часть этой дозы человек получает от радионуклидов, попадающих в организм вместе с вдыхаемым воздухом, особенно в непроветриваемых помещениях. Известны случаи, когда использование при строительстве материалов из горных пород или промышленных отходов производств, обладающих довольно высокой естественной радиоактивностью, приводила к резкому (до 5000 раз и более) увеличению концентраций радона в зданиях.

Облучение от медицинских источников вносит основной вклад в дозу, получаемую человеком от техногенных источников излучения, и это не случайно. Рентгенологические обследования, применение радиоактивных препаратов для диагностики и лечения самых различных заболеваний давно уже стали массовыми. Обычное рентгеновское исследование грудной клетки создаёт дозу примерно 0,8 мЗв. Более сложная процедура, такая, как рентгеновское обследование пищевода и желудка с применением бария, может дать дозу в 10 раз больше. Ещё большие дозы пациент получает при обследовании почек. Кроме того, индивидуальная эффективная доза при медицинском облучении имеет тенденцию к увеличению с каждым годом по мере развития технологий в области радиологической диагностики. Так, в США [12] среднегодовая доза выросла с 3,6 мЗв в 1980 г. до 6,2 мЗв в 2006 г. (рис. 3).

Применение радиации в медицине в определённых случаях может быть связано с риском для здоровья человека, но, как и в случае с безопасностью объектов использования атомной энергии, понятие риска имеет особое значение, поскольку является мерой опасности.

В области радиационной защиты методология оценки риска разрабатывается с 70-х годов прошлого века [13]. В отечественных нормах радиационной безопасности [9] пределы доз облучения в условиях нормальной эксплуатации источников ионизирующего излучения определены, исходя из значений индивидуального пожизненного риска. Установленный уровень для населения составляет $5,0 \cdot 10^{-5}$, для персонала – $1,0 \cdot 10^{-3}$. Данные величины риска и соответствующие дозы определены, исходя из линейной беспороговой концепции (ЛБК), в соответствии с

которой риски канцерогенеза являются беспороговыми, и риск возникновения эффектов пропорционален дозе облучения [14]. Отметим, что при малых дозах эпидемиологическая информация, подтверждающая линейную беспороговую концепцию риска онкологических и наследуемых заболеваний, отсутствует. В связи с этим в публикации 103 МКРЗ подчёркивается ограниченность области применения оценок риска развития стохастических эффектов при воздействии малой дозы радиации на большие группы людей – возможность её использования для регулирования воздействия и неприменимость для оценки медицинских последствий облучения [15]. Следует отметить, что техногенное облучение населения, а также допустимые сбросы и выбросы современных атомных станций нормируются на величину, соответствующую уровню риска ещё на порядок ниже.

Рис. 3. Вклад медицинского облучения в структуру дозовых нагрузок на население США [12].

Гигиеническое нормирование химического воздействия в отличие от нормирования радиационного воздействия базируется на пороговой методологии, при которой считается, что концентрации ниже установленных предельно допустимых концентраций не создают дополнительных рисков. Однако для веществ, обладающих канцерогенными свойствами, оценки риска проводятся также на основе методологии ЛБК [16].

В части практического регулирования химического воздействия в Российской Федерации установлены предельные допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ, исходя из лимитирующего показателя вредности, характеризующего характер воздействия вещества на человека (рефлекторное, резорбтивное, рефлекторно-резорбтивное). ПДК устанавливаются и для веществ, обладающих канцерогенными свойствами. Одновременно с этим с конца 90-х годов прошлого века в отечественную систему нормирования начинает проникать методология анализа рисков для здоровья человека, связанных с состоянием окружающей среды [16, 17]. В Руководстве по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду [17], для нескольких сотен химических веществ определены факторы канцерогенного потенциала для перорального и ингаляционного поступления вредных веществ в организм человека, по своей природе сходного с коэффициентом номинального риска, определённого в отношении радиационного воздействия. Появилась основа для сравнительного научного анализа вредного влияния факторов различной природы на здоровье человека, без которой невозможно было переходить к анализу возможных ущербов, выгод, ранжи-

рованию существующих проблем по их значимости. Иллюстрацией того, что существовавший нормативный подход не давал возможности оценивать социальные и медико-биологические последствия воздействия факторов, вызывающих загрязнение окружающей среды, служит пожизненный канцерогенный риск ингаляционного воздействия при годовой экспозиции на уровне среднесуточной предельно допустимой концентрации (рис. 4).

Различия величин канцерогенных рисков от воздействия ряда веществ, содержащихся в атмосферном воздухе на уровне ПДК, показывает диапазон в 5-6 порядков. Сравнение величин рисков, обусловленных воздействием ионизирующего излучения и некоторых химических канцерогенов на уровне принятых нормативов, показывает, что нормированный радиационный риск занимает промежуточное положение между рисками химического канцерогенеза.

Рис. 4. Канцерогенные риски для концентраций в воздухе, соответствующих уровням установленных для них ПДК.

Очевидно, что действующие гигиенические нормы обусловлены, в том числе, и экономическими условиями в стране, уровнем развития технологий и возможностями промышленности обеспечивать определённый уровень безопасности.

Степень развития современных ядерных технологий даёт возможность жёсткого нормирования радиационного фактора, обеспечивая при нормальной эксплуатации предприятий атомной отрасли уровни риска для населения значительно ниже границы допустимого риска, формируемого за счёт облучения предельной годовой дозой (рис. 5).

Исходя из анализа гигиенических нормативов, можно отметить тот факт, что сегодня химическое воздействие в ряде случаев нормировано менее жёстко, чем радиационное. На практике можно увидеть, что все предприятия Госкорпорации «Росатом», относительно действующего норматива по воздействию на население, имеют запас на порядок величины и более. Что же касается химического воздействия на здоровье населения, то картина обратная, и зачастую, действующие нормативы (ПДК) и предлагаемые к использованию риски на порядок величины и более превышаются.

Как было показано выше, сравнение данных мониторинга ПДК и производные от них показатели, например, индекс загрязнения атмосферы (ИЗА), далеко не всегда адекватно отражают степень вреда здоровью населения, и возникает необходимость использования более чувствительных индикаторов. К таковым в промышленно развитых странах относят оценки пожизненных рисков, рассчитанные по многолетним данным содержания вредных веществ в объ-

ектах природы (воздух, вода, почва, продукты питания). Такие оценки позволяют, прежде всего, ранжировать различные источники по степени их воздействия и дают органам управления инструмент для контроля и улучшения качества окружающей среды.

Рис. 5. Оценка пожизненного канцерогенного риска от радиационного воздействия на критические группы населения годовых выбросов и сбросов ряда организаций Госкорпорации «Росатом».

Переход к регулированию техногенного воздействия на основе рисков для здоровья населения определён Основами государственной политики в области экологического развития Российской Федерации на период до 2030 года. В качестве механизма реализации государственной политики в области экологического развития определено внедрение в систему управления качеством окружающей среды методологии определения и оценки экологических рисков с целью повышения обоснованности принятия управленческих решений. Для принятия решений в области охраны окружающей среды большое значение имеет вопрос об уровне приемлемого риска. Существуют четыре уровня индивидуального риска в течение жизни человека (табл. 1). Рекомендуемая величина целевого риска для условий населённых мест в России составляет 10^{-5} – 10^{-6} [17].

Таблица 1

Уровни индивидуального риска в течение жизни человека

Уровень риска	Величина	Необходимые действия
Пренебрежимо малый риск	равный 10^{-6} и менее	Мероприятия по снижению риска не требуются
Приемлемый риск	10^{-6} – 10^{-4}	Требуется постоянный контроль, в некоторых случаях могут проводиться дополнительные мероприятия по снижению риска
Приемлемый для профессиональных групп и неприемлем для населения	10^{-4} – 10^{-3}	Требуется проведение плановых мероприятий по снижению риска
Неприемлемый ни для населения, ни для профессиональных групп	равный 10^{-3} и более	Требуется проведение экстренных мероприятий по снижению риска

Возможность получения тех или иных оценок во многом определяется доступностью исходных данных мониторинга загрязняющих веществ в природных средах, а также качеством имеющейся информации с точки зрения полноты перечня контролируемых веществ, точности измерений, количества измерений и т.д.

В регионах расположения предприятий атомной отрасли радиационное воздействие и связанные с ним риски зачастую считаются приоритетными. Определить место радиационных рисков в структуре экологических рисков на той или иной территории позволяет сопоставление радиационных рисков с другими экологическими рисками. С 2000-х годов в Институте безопасного развития атомной энергетики РАН ведутся работы по сравнительному анализу рисков воздействия радиационного и химических факторов на здоровье населения в районах размещения предприятий атомной отрасли [18]. Проведение подобных комплексных исследований создаёт, в том числе, и научную основу для более адекватного восприятия общественностью информации по экологическим аспектам промышленной деятельности. Кроме того, научно обоснованное определение приоритетных факторов риска и разработка мероприятий, влияющих на них, может обеспечить улучшение качества окружающей среды и снижение реальных рисков для здоровья населения.

Сотрудниками ИБРАЭ РАН выполнены исследования как в региональном масштабе, так и в масштабе отдельных крупных поселений. Региональные исследования по оценке экологической безопасности проведены для Красноярского края в 2011 г. и Воронежской области в 2009 г. совместно с НИИ экологии человека и гигиены окружающей среды им. А.Н. Сысина. В 2016 г. силами ИБРАЭ РАН, Межрегионального управления № 1 ФМБА России в Ангарске с использованием данных мониторинга, проводимого ФГБУ «Иркутское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» Росгидромета (Иркутское УГМС), была выполнена оценка рисков для здоровья населения города Ангарск Иркутской области. Приводим результаты проведённых исследований.

Оценка радиационных и химических рисков для города Ангарска

По инициативе Госкорпорации «Росатом» в 2016 г. выполнены работы по оценке химического и радиационного рисков для Ангарска, где размещён АО «Ангарский электролизный химический комбинат» (АО «АЭХК»), входящий в топливную компанию ТВЭЛ. Продукция комбината – обогащённый уран – идёт для производства топливных элементов для АЭС. Промышленность города представлена крупными предприятиями энергетики (ТЭЦ 9, ТЭЦ 10, участок № 1 ТЭЦ 9 ОАО «Иркутскэнерго»), добычи полезных ископаемых (АО «Ангарский цементно-горный комбинат» (АО «АЦГК»)), нефтепереработки (АО «Ангарская нефтехимическая компания»).

Благодаря приоритетному развитию стратегически важных для страны промышленных объектов Ангарск заметно выделялся на фоне других городов, демонстрировал высокие темпы развития производственной и социальной инфраструктуры. Однако, история развития индустриального Ангарска также демонстрирует и отрицательные черты хозяйственной деятельности второй половины XX века. Начало промышленного строительства пришлось на тот период, когда приоритетными являлись экономические показатели, и существовала недооценка экологических факторов активного вмешательства человека в природную среду. Это привело к обострению социально-экологической обстановки и превратило Ангарск в один из экологически неблагополучных городов страны [19]. Предметом этого исследования стала сравнительная оценка рисков, обусловленных различными техногенными факторами, а одной из решаемых задач – расстановка основных акцентов, определяющих рейтинг факторов воздействия крупного индустриального центра на здоровье местного населения.

Выявление и ранжирование потенциально вредных факторов сдерживалось недостатками системы мониторинга: перечень контролируемых в селитебной зоне химических веществ

был довольно скромным, а количество точек мониторинга в городе ограничивалось двумя рядом расположенными постами Росгидромета. В дополнение к ним контроль за уровнями загрязнения воздушной среды проводился в 6 районах города санитарной лабораторией Ангарской нефтехимической компании. Сводные многолетние данные по загрязнению воздуха химическими веществами были получены на основе анализа данных Иркутского УГМС. В противоположность этому контроль за радиационной обстановкой в населённом пункте был организован в полной мере. Так, измерения мощности дозы в городе охватывали 111 точек, в каждой из которых проводились измерения 1 раз в месяц. Отсутствие динамики в измеряемом параметре свидетельствует даже о некоторой избыточности такого объёма контроля. В 14 точках города ежегодно определяли удельные активности дозообразующих радионуклидов в верхнем слое почвы, которые сравнивали с замерами в контрольном пункте, расположенном на заметном удалении от города.

Присутствие в воздухе ряда веществ обусловлено не только выбросами крупных предприятий, где проводится регулярный замер количества выбрасываемых веществ, а также осуществляется со стороны надзорных органов контроль за соблюдением нормативов выбросов и наличием загрязнения от авто- и железнодорожного транспорта, сдувкой загрязняющих веществ с территорий заводов, деятельностью коммунальных служб, трансграничным переносом примесей и другими возможными источниками.

С целью идентификации источников проводили расчёты приземной концентрации от выбросов наиболее значимых предприятий города, которые сравнивались с данными регулярного мониторинга. На основе результатов расчётов была выполнена оценка уровней экспозиций и техногенного риска радиационной и химической природы [19]. Сравнительный анализ рисков позволил провести ранжирование по факторам негативного воздействия на здоровье населения, что дало возможность определить наиболее значимые из них (табл. 2).

Таблица 2

**Ранжирование факторов негативного воздействия на здоровье населения
Ангарска по величине риска [19]**

Параметр	Техногенный риск	% вклада в техногенный риск
Фоновый уровень	1,3E-02	
Взвешенные частицы	3,0E-03	85,7
Бензол	2,5E-04	7,1
Диоксид серы	2,0E-04	5,7
Формальдегид	2,7E-05	0,8
Оксид углерода	2,0E-05	5,7E-01
Никель*	2,9E-06	8,2E-02
Бенз(а)пирен	1,3E-06	3,8E-02
Свинец	1,6E-07	4,5E-03
Уран	1,5E-07	4,3E-03
Сумма техногенных ингредиентов	3,50E-03	100,0

* Риски от никеля приведены лишь для демонстрации местоположения этого вещества на шкале рисков. Техногенная природа присутствующего в воздухе Ангарска никеля остаётся недоказанной, а его физиологическая необходимость для человека делает неоправданным отнесение тех количеств, которые могут поступить в организм человека, к наносящим ущерб здоровью.

Суммарное значение индивидуального пожизненного риска смерти от загрязнения воздуха классическими веществами (сера диоксид, углерод оксид, взвешенные вещества) составляет $7,1 \cdot 10^{-4}$. Такое значение риска определяется главным образом (до 50%) действием взвешенных

частиц, особенно мелкодисперсных фракций (менее 2,5 мкм). Распределение рисков, обусловленных выбросами в атмосферу взвешенных частиц предприятиями Ангарска, представлено на рис. 6.

Рис. 6. Распределение рисков, обусловленных выбросами в атмосферу взвешенных частиц предприятиями Ангарска [19].

Таким образом, в городе за счёт выбросов взвешенных частиц предприятиями создаются риски, составляющие от 10 до 20% общего техногенного риска. Другие риски от взвешенных частиц (до 30%) обусловлены транспортом и иными источниками.

Максимальный уровень пожизненного техногенного радиационного риска для жителей Ангарска от годовых выбросов ТЭЦ приблизительно равен $1,5 \cdot 10^{-7}$. Оценки уровня канцерогенного риска, обусловленного деятельностью Ангарского электролизного химического комбината, ещё почти на два порядка ниже. Отметим, что эти оценки радиационного риска носят чисто умозрительный характер, поскольку положенные в их основу дозовые нагрузки на население города Ангарска не превышают 0,005 мЗв. На практике выявить подобную дозу облучения жителей не представляется возможным, ввиду того, что она будет полностью поглощаться флуктуациями естественного радиационного фона, среднегодовое значение которого может превышать 2 мЗв/год.

Обобщение результатов сравнительного анализа рисков позволило сфокусировать внимание на основных факторах негативного воздействия на здоровье жителей Ангарска (рис. 7 и 8).

Уровни неканцерогенного риска от загрязнения атмосферного воздуха взвешенными веществами и диоксидом серы и канцерогенного риска, связанного с загрязнением воздуха формальдегидом, бенз(а)пиреном, бензолом, превышают целевой уровень риска. Суммарное значение техногенного риска за счёт воздействия химических факторов находится на границе неприемлемого риска.

Значительный вклад выбросов различных ТЭС в формирование техногенных рисков для здоровья человека наблюдается во многих городах, где расположены предприятия традиционной тепловой энергетики. Загрязнение атмосферного воздуха частицами угольной золы может приводить к увеличению смертности населения от респираторных и сердечно-сосудистых заболеваний, а также онкологических заболеваний органов дыхательной системы (табл. 3).

Рис. 7. Оценки уровней радиационных рисков, обусловленных выбросами урана
а) АО «АЭХК», б) предприятий Ангарска (АО «АЭХК» и ТЭЦ города) [19].

Рис. 8. Риски от регулярных факторов воздействия [19].

Таблица 3

Риски смерти среди населения, проживающего в городах с крупными угольными ТЭС [20]

Города	Численность населения, тыс. чел.	Индивидуальный и годовой риск смерти	Популяционный годовой риск смерти, чел.
Улан-Удэ	371,4	$5,1 \cdot 10^{-4}$	190
Черемхово	50,0	$1,9 \cdot 10^{-3}$	96
Чита	316,7	$8,8 \cdot 10^{-4}$	278
Новочеркасск (Ростовская ГРЭС)	188,7	$3,2 \cdot 10^{-4}$	60
Уссурийск	158,4	$1,0 \cdot 10^{-3}$	158

В зарубежной литературе по охране окружающей среды также отмечают весомые последствия воздействия выбросов тепловых электростанций на население. Так, в США ежегодно умирает почти 2800 человек по причине рака лёгких, индуцируемого данным вредным фактором (табл. 4, рис. 9). Для сравнения, число смертей вследствие всех аварий на ОИАЭ ниже почти в 50 раз.

Таблица 4

Воздействие тепловых электростанций на здоровье населения США [21]

Показатели	Количество случаев в год
Смерть	23 600
Смерть от рака лёгких	2 826
Госпитализация	21 850
Обращение за скорой медицинской помощью вследствие приступа астмы	26 000
Сердечные приступы	38 200
Хронические бронхиты	16 200
Приступы астмы	554 000
Потерянные рабочие дни	3 186 000

Рис. 9. Структура производства электроэнергии США в целом [21].**Оценка рисков для жителей Воронежской и Ленинградской областей**

На основе системного анализа рисков и определения экологических ориентиров для разработки стратегии устойчивого развития Воронежской области в работе [20] оценено состояние экологической безопасности региона строительства атомных станций на примере Воронежской и Ленинградской областей. В сферу исследований в области анализа рисков были включены оценка радиационных рисков для здоровья населения Нововоронежа, связанных с работой первой отечественной промышленной Нововоронежской атомной станции (НВАЭС); рисков, обусловленных химическим загрязнением воздуха на территории Воронежской области и в областном центре – Воронеже.

Загрязнение атмосферного воздуха в Воронеже и районных центрах обуславливает значимые уровни риска здоровью населения, при этом основной вклад (более 80%) в формирование возможного ущерба здоровью вносит воздействие взвешенных веществ и диоксида серы. Оцененный уровень годового риска в Воронеже составляет $2,1 \cdot 10^{-3}$. Однако необходимо помнить, что основной вклад в загрязнение атмосферного воздуха вносит автотранспорт. Суммарные объёмы выбросов от автотранспорта постоянно растут, превышая выбросы от стационарных источников Воронежской области, составляя в настоящий момент до 80% от суммарных выбросов от стационарных и передвижных источников по области.

Хроническое загрязнение воздуха взвешенными веществами и сернистым ангидридом в Воронеже и районных центрах обуславливает значимые уровни риска для здоровья. Максимальных значений величина риска достигает для населения Семилукского района – $6,1 \cdot 10^{-3}$, что значительно превышает уровень неприемлемого риска [20]. Значения годовых индивидуальных

рисков развития раковых заболеваний для населения Воронежа, связанных с воздействием всех контролируемых в воздухе канцерогенов (1,3-бутадиен, хром (6+), акрилонитрил, формальдегид, свинец, этилбензол, стирол), составляет $1,6 \cdot 10^{-4}$ в год. Основной вклад в риск (93%) вносят 1,3-бутадиен и хром (6+).

При оценке вклада НВАЭС в суммарную дозу облучения, которая составляет 3 мЗв/год, было установлено, что он не превышает 0,1%. Ведущими факторами облучения населения являются природные (75,5%) и медицинские (24,2%) источники ионизирующего излучения. Оценки прогнозной годовой эффективной дозы облучения населения (критическая группа «рыбаки») при совместной работе НВАЭС и НВАЭС-2 с учётом всех путей облучения показали, что полная доза (с учётом потребления рыбы, молока, мяса и овощей местного производства) составит 0,85 мкЗв/год. Расчёт проведён для крайне консервативных условий. Такая величина дополнительной годовой дозы приведёт к дополнительному пожизненному риску $4,2 \cdot 10^{-8}$ или в предположении, что такие уровни дополнительного техногенного облучения сохранятся в течение 50 лет, к пожизненному риску, примерно равному $2 \cdot 10^{-6}$ [20].

Таким образом, суммарные риски смерти от рака по причине загрязнения воздуха в Воронеже химическими канцерогенами примерно на три порядка величины выше рисков от воздействия ионизирующего излучения, связанного как с текущей работой НВАЭС, так и в ещё большей степени с будущей её эксплуатацией на основе новых энергоблоков.

Представленные результаты исследований подтверждают, что уровни химических рисков существенно выше уровней радиационных рисков, связанных с работой предприятий атомной энергетики и промышленности.

Следует заметить, что существующие уровни риска для здоровья населения рассмотренных крупных городских агломераций не носят исключительный характер. Высокий уровень загрязнения городского воздуха является значимой угрозой здоровью населения и в других крупных промышленных центрах страны. По данным государственной системы наблюдений Росгидромета численность населения России, подвергающегося хроническому воздействию повышенных по сравнению с допустимыми концентрациями контролируемых загрязняющих веществ, достигает 65 млн человек, среди которых около 20 млн человек испытывают воздействие разовых концентраций, превышающих 10 ПДК.

С открытыми данными мониторинга, отражающего радиационную обстановку в регионах расположения, можно ознакомиться на сайте www.russianatom.ru. На карте представлены пункты контроля, которые входят в единую автоматизированную систему контроля радиационной обстановки (АСКРО), и результаты измерений мощности дозы на этих постах. Данные передаются в режиме реального времени.

По медицинским данным риск смерти от проживания вблизи АЭС в тысячу раз меньше, чем вблизи угольной теплоэлектростанции и в сто – тысячу раз меньше, чем от существующего сильного загрязнения воздушной среды (рис. 10).

Отметим также, что для города Сосновый Бор, в котором расположена Ленинградская АЭС, вклад выбросов самой станции в загрязнение долгоживущим изотопом ^{137}Cs , определяющим радиационную обстановку, пренебрежимо мал (табл. 5).

Рис. 10. Показатель заболеваемости лейкемиями среди детей (случаев на 100 тыс. человек) на примере региона размещения Ленинградской АЭС и соседних областей [22].

Таблица 5

Вклад различных источников в суммарное загрязнение территории зоны наблюдения ЛАЭС ^{137}Cs (радиус 17 км от трубы на территории НИТИ, площадь 908 км²) по состоянию на 2017 г. [23, 24]

Источник	Бк	%
Глобальные выпадения	2,4E+12	14,3
Выпадения от аварии на ЧАЭС	1,4E+13	85,7
Выпадения от аварии на Фукусима-Дайичи	1,0E+09	0,006
Выпадения от выбросов ЛАЭС за период с 1977 по 2016 гг.	2,7E+08	0,002
ИТОГО	1,6E+13	100,0

Состояние здоровья населения в регионах присутствия атомной отрасли

Экологические проблемы вызывают различные заболевания, связанные с загрязнением и деградацией окружающей среды. Особенно беспокоит проблема обеспечения населения водой. По данным ВОЗ [25], уже сегодня 80% всех болезней в мире возникает из-за потребления некачественной питьевой воды, а по оценкам МАГАТЭ ежегодно 5 млн человек умирают от болезней, связанных с потреблением загрязнённой и некачественной воды. Вода вполне может стать едва ли не главной причиной будущих вооружённых конфликтов, таких же, какие сейчас возникают из-за нефти.

В Уставе ВОЗ сказано, что «здоровье – состояние полного физического, душевного и социального благополучия, а не только отсутствие болезней и физических дефектов» [26].

На ранней стадии развития человеку угрожали больше природные явления и неблагоприятные условия жизни. Научно-технический прогресс улучшил условия жизни людей, они стали жить в более благоприятных условиях, средняя продолжительность жизни значительно выросла, успехи медицины позволили победить многие болезни, но в то же время, тот же научно-технический прогресс принёс новые опасности. Промышленная революция привела к широкому использованию природных ресурсов. Если ещё 150 лет назад основным источником энер-

гии были дрова и только в 9% уголь [18], то за последние полтора века появились такие могучие источники энергии, как гидроэнергетика и атомная энергетика. Ещё большее развитие получила угольная энергетика, развитие которой вызывает особые опасения [18, 27].

Атомная энергетика не потребляет кислорода, не выбрасывает в атмосферу и водоёмы вредные химические вещества, она существенно экономит расходование органического топлива, запасы которого достаточно ограничены. В частности, в пяти наиболее развитых странах мира ядерная энергетика позволяет сэкономить в год до 440 млн т угля (в России – 65,3 млн т), 350 млн т нефти (в России – 40,3 млн т), до 280 млрд м³ газа (в России – 36,8 млрд м³), предотвратить сжигание свыше 450 млн т кислорода (в России – 36 млн т), сохранить земельные пространства на территории в 70 тыс. га (в России – 11 тыс. га). Экологически чистым районом Европы называют Францию, где выработка электроэнергии на АЭС превышала 70% от общей выработки [28].

Следует отметить, новых случаев заболеваний, связанных с радиацией, таких как острая и хроническая лучевая болезнь, местные лучевые поражения за последние 10 лет не зарегистрировано. На протяжении многих лет также не регистрируются случаи превышения сбросов и выбросов радиоактивных веществ во внешнюю среду из атомных объектов. Профессиональная патология в городах, связанных с атомной отраслью, ниже, чем по России в целом (рис. 11). И это при том, что количество и качество обследований населения в этих городах априори выше, чем в других населённых пунктах (рис. 11).

Рис. 11. Профессиональная патология на 10 тыс. работающих [29].

Смертность населения от фактического загрязнения химическими веществами вредного воздействия приводится в ежегодных докладах Роспотребнадзора. Для сравнения приведём рассчитанные в рамках линейной беспороговой концепции уровни смертности за счёт воздействия радиационного фактора (табл. 6). Реальная картина такова, что техногенная радиация как причина смертности вносит вклад в общую структуру не более 0,001%.

Несмотря на наличие данных, убедительно доказывающих высокий уровень экологической безопасности ядерных технологий, в государстве и обществе существует проблема негативного отношения ко всему, что связано с ядерными технологиями. Это обусловлено и в том числе произошедшими в прошлом радиационными инцидентами: в СССР (авариями на ФГУП ПО «Маяк» и Чернобыльской АЭС), США (аварией на АЭС Три-Майл-Айленд) и Японии (аварией на АЭС Фукусима-1 вследствие землетрясения), и является результатом гипертрофированных, непрофессиональных оценок их последствий и политизации всей проблемы.

Таблица 6

Смертность населения в РФ за 2016 г. по разным причинам и расчётные величины популяционных рисков от химического загрязнения окружающей среды и радиационного облучения [30]

Причины	Количество, человек	%
Численность населения РФ на 01.01.2016 г.	146 544 700	
Всего умерло в 2016 г.	1 891 015	100
Злокачественные новообразования (ЗНО)	295 729	15,6
Внешние причины смерти (ВПС)	167 543	8,9
в т.ч. суициды	23 119	1,2
Причины смерти, обусловленные алкоголем	56 283	3,0
Популяционный риск смертей		
от загрязнения атмосферного воздуха	4 800	0,25
от загрязнения питьевой воды	18 900	0,99
от загрязнения почвы (смертность от новообразований)	3 200	0,1
от природного и медицинского радиационного облучения	11 300	0,59
от техногенного радиационного облучения	27	0,001

Другой важной причиной неадекватного восприятия деятельности предприятий ЯТЦ, в том числе АЭС, являются установление пределов годовой дозы облучения с существенным коэффициентом запаса в действующей нормативно-правовой базе в области радиационной безопасности. Это отчётливо видно при сравнении существующих норм радиационной и химической безопасности с позиции оценки рисков для здоровья. Сопоставление величин рисков, обусловленных воздействием ионизирующих излучений и некоторых химических канцерогенов на уровне принятых нормативов, показало, что нормированный радиационный риск оказывается в сотни раз меньше рисков химического канцерогенеза (рис. 12).

Рис. 12. Индивидуальные канцерогенные риски летального исхода от годовой допустимой дозы облучения населения (1 мЗв/год), фактической средней дозой (0,004 мЗв/год) и некоторых химических веществ на уровне ПДК в воздухе населённых мест [9, 17, 30].

Говоря о дозах облучения населения за счёт деятельности ОИАЭ, необходимо добавить, что они контролируются на уровне 10 мкЗв/год, тогда как на практике реальные их значения в 100-1000 раз ниже доз облучения от природного фона (рис. 13).

Число химических веществ, воздействие которых на уровне установленных нормативов, создаёт риски, лежащие в области неприемлемых значений, достаточно велико.

Рис. 13. Сопоставление нормативных уровней и фактических доз облучения [24].

Существующие различия в нормативно-правовых базах и отсутствие законодательно установленного единого критерия для количественной сравнительной оценки воздействия разных техногенных факторов в виде единой меры риска (ущерба) здоровью приводят к несопоставимости данных по уровням воздействия веществ (радиоактивных, химических и др.) и процессов и, как следствие, к принятию не всегда верных управленческих решений в отношении приоритетности развития тех или иных энерготехнологий.

К сожалению, к неадекватным выводам приходят не только «зелёные», но и отдельные правительства. Хотя в настоящее время те же «зелёные» во многом изменили свою точку зрения. Меняется и оценка экологов: основатель Гринписа Патрик Мур заявил: «Я считаю логически несостоятельным для людей, участвующих в экологических движениях, говорить о том, что климатические изменения угрожают самому существованию нашей цивилизации, грозят вымиранием миллионов особей, и при этом выступать против одной из самых важных технологий, которая может предложить решение проблемы, – замены ископаемого топлива атомной энергией. Гринпис сделала очень серьёзную ошибку, связав ядерную энергетику с ядерным оружи-

ем, как будто всё ядерное есть зло». Не «зло», а в обозримом будущем – пока что единственный выход. И другого выхода сегодня нет [31-40].

Среди широкой общественности, как следствие, формируется искажённое восприятие воздействия радиационного фактора на здоровье человека, как в случае штатной эксплуатации объектов, так и при тяжёлых авариях. Это ярко демонстрируют результаты общероссийского опроса общественного мнения, который был проведён ИБРАЭ РАН 2012 г. [41, 42]. В ходе опроса более половины россиян ответили, что чернобыльская радиация стала причиной гибели тысяч, десятков тысяч и более человек. Распределение ответов по японской аварии оказалось удивительно похожим на распределение по Чернобылю (рис. 14, 15). В обоих случаях распределение ответов практически не зависело от возраста, образования, материального положения, места проживания и рода занятий респондентов [41].

Рис. 14. Распределение ответов респондентов на вопрос: «В 1986 г. произошла авария на Чернобыльской АЭС. По Вашему мнению, сколько всего людей погибли от радиационного воздействия в результате этой аварии?», в процентах от общего числа опрошенных [42].

Рис. 15. Распределение ответов респондентов на вопрос: «В 2011 г. произошла авария на АЭС «Фукусима» в Японии. По Вашему мнению, сколько всего людей погибли от радиационного воздействия в результате этой аварии?», в процентах от общего числа опрошенных [42].

Заключение

Оценка рисков для здоровья людей является обязательным элементом экологической экспертизы проектов нового строительства, реконструкции действующего производства и реабилитации загрязнённых территорий в США и странах Западной Европы. Год за годом эта методология занимает всё более прочное место и в России, становясь научной базой для выполнения подобных работ. Результаты проведённых исследований позволяют обозначить ориентиры

дальнейшего развития регионов страны в направлении повышения экологической безопасности и достижения целей устойчивого развития. При этом они подтверждают высокую степень экологической безопасности предприятий атомной отрасли. Приведённые данные исследования для города Ангарска и мест расположения АЭС (Воронежская и Ленинградская области), также подтверждают, что дополнительных рисков для здоровья населения ОИАЭ не оказывает.

Ускоренное развитие атомной энергетики позволит решить многие экономические и социальные проблемы. А проведение мероприятий, обеспечивающих безопасное функционирование объектов атомной энергетики, в том числе проведение экологической экспертизы на стадии проектирования, строительства, эксплуатации и вывода объектов из эксплуатации, позволит решить экологические проблемы и обеспечить безопасное проживание человека на территориях вблизи атомных объектов.

Литература

1. **Арутюнян Р.В., Воробьёва Л.М., Панченко С.В., Бакин Р.И., Новиков С.М., Шашина Т.А., Додина Н.С., Горяев Д.В., Тихонова И.В., Куркатов С.В., Скударнов С.Е., Иванова О.Ю.** Сопоставительный анализ радиационных и химических рисков для здоровья населения Красноярского края //Радиация и риск. 2014. Т. 23, № 2. С. 123-136.
2. National Council on Radiation Protection and Measurements. Ionizing radiation exposure of the population of the United States. Bethesda, MD: National Council on Radiation Protection and Measurements; NSRP Report 160, 2009.
3. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and effects of ionizing radiation. UNSCEAR 2000. Report to the General Assembly with scientific annexes. New York: United Nations, 2000.
4. National Research Council. Health risks from exposure to low levels of ionizing radiation: BEIR VII Phase 2. Washington, DC: The National Academies Press, 2006.
5. International Atomic Energy Agency. Chernobyl's legacy: Health, Environmental and socioeconomic impacts. The Chernobyl Forum 2003 – 2005. IAEA/PI/A.87 Rev.2/06-09181. Vienna: IAEA, 2006.
6. **Keller W., Modarres A.** A historical overview of probabilistic risk assessment development and its use in the nuclear power industry: a tribute to the late Professor Norman Carl Rasmussen //Reliability Engineering and System Safety. 2005. V. 89, N 3. P. 271-285.
7. **Rashad S.M., Hammad F.H.** Nuclear power and the environment: comparative assessment of environmental and health impacts of electricity-generating systems //Appl. Energy. 2000. V. 65, N 1-4. P. 211-229.
8. Результаты радиационно-гигиенической паспортизации в субъектах Российской Федерации за 2008 год (радиационно-гигиенический паспорт Российской Федерации). [Электронный ресурс]. URL: <http://www.alppp.ru/law/bezopasnost-i-ohrana-pravoporjadka/19/rezultaty-radiacionno-gigienicheskoy-pasportizacii-v-subektah-rossijskoj-federacii-za-2008.html> (дата обращения 16.05.2018).
9. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). Санитарные правила и нормативы СанПин 2.6.1.2523-09. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 100 с.
10. **Nair R.R., Rajan B., Akiba S., Jayalekshmi P., Nair M.K., Gangadharan P., Koga T., Morishima H., Nakamura S., Sugahara T.** Background radiation and cancer incidence in Kerala, India-Karanagappally cohort study //Health Phys. 2009. V. 96, N 1. P. 55-66.
11. **Thompson D.E., Mabuchi K., Ron E., Soda M., Tokunaga M., Ochikubo S., Sugimoto S., Ikeda T., Terasaki M., Izumi S., Preston D.L.** Cancer incidence in atomic bomb survivors. Part II: Solid tumors, 1958-1987 //Radiat. Res. 1994. V. 137. P. S17-S67.
12. **Bolus N.E.** NCRP Report 160 and what it means for medical imaging and nuclear medicine //J. Nucl. Med. Technol. 2013. V. 41, N 4. P. 255-260.
13. International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 27. Problems involved in developing an index of harm. Oxford: PergamonPress, 1977.
14. **Филюшкин И.В., Петоян И.М.** Теория канцерогенного риска воздействия ионизирующего излучения. М.: Энергоатомиздат, 1988. 160 с.
15. **Онищенко Г.Г., Новиков С.М., Рахманин Ю.А., Авалиани С.Л., Буштуева К.А.** Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду /Под ред. Ю.А. Рахманина, Г.Г. Онищенко. М.: НИИ ЭЧ и ГОС, 2002. 408 с.
16. **Новиков С.М., Авалиани С.Л., Андриянова М.М., Пономарёва О.В.** Основные элементы оценки риска для здоровья: Пособие для семинаров. М.: Консультационный центр по оценке риска, 1998.
17. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. Р 2.1.10.1920-04. М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора России, 2004. 143 с.
18. **Blees T.** Prescription for the planet. The painless remedy for our energy and environmental crises. Moscow: Center for the promotion of social and environmental initiatives of the nuclear industry, 2011. 282 p.

19. **Панченко С.В., Аракелян А.А., Ведерникова М.В.** Сравнительная оценка радиационных и токсических рисков в Ангарске //Радиация и риск. 2017. Т. 26, № 2. С. 83-96.
20. Environmental policy of the State Atomic Energy Corporation ROSATOM /Ed. V.A. Grachev. Moscow: Center for the promotion of social and environmental initiatives of the nuclear industry, 2011. 350 p.
21. Annual Energy Outlook 2000 with Projections to 2020. Energy Information Administration Office of Integrated Analysis and Forecasting U.S. Department of Energy, Washington, DC 20585, 1999, p. 250. [Электронный ресурс]. URL: [https://www.eia.gov/outlooks/archive/aeo00/pdf/0383\(2000\).pdf](https://www.eia.gov/outlooks/archive/aeo00/pdf/0383(2000).pdf) (дата обращения 05.06.2018).
22. **Акатов А.А., Коряковский Ю.С.** Радиационная мифология. М.: Центр содействия социально-экологическим инициативам атомной отрасли, 2010. 35 с.
23. **Аракелян А.А., Панченко С.В., Стрижова С.В., Шашина Т.А.** Сравнительный анализ радиационных и химических рисков в регионе размещения Ленинградской АЭС. Доклад на Одиннадцатой Международной научно-технической конференции //Безопасность, эффективность и экономика атомной энергетики (МНТК-2018). Москва, 23-24 мая 2018 г.
24. **Арутюнян Р.В.** Чернобыль – Фукусима: путевые заметки ликвидатора. М., 2018. 364 с.
25. Global health risks: mortality and burden of disease attributable to selected major risks. WHO, 2015. [Электронный ресурс]. URL: http://www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/GlobalHealthRisks_report_full.pdf?ua=1&ua=1 (дата обращения 05.06.2018).
26. Устав (Конституция) Всемирной Организации Здравоохранения. [Электронный ресурс]. URL: <http://apps.who.int/gb/bd/PDF/bd47/RU/constitution-ru.pdf?ua=1> (дата обращения 05.06.2018).
27. **Plyamina O.V., Grachev V.A.** Environmental performance indicators and their place in the economy //Vestnik MNEPU. 2012. V. 5. P. 71-80.
28. World Nuclear Association. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/france.aspx> (дата обращения 05.06.2018).
29. **Грачёв В.А.** Взаимосвязь глобальных экологических проблем здоровья населения и развития атомной энергетики //Экология человека. 2018. № 2. С. 9-15.
30. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2016 году: Государственный доклад. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2017. 220 с.
31. **Akimoto Y.** Nuclear power, ensuring not only safety but also peace of mind //Plutonium. 2000. N 31.
32. **Barnier M.** The development of eco-citizenship //La Jaune et la Rouge. 1994. P. 3.
33. **Dubrana D.** The Bulgarian Chernobyl and Nuclear energy and cancer: a disturbing inquiry //Science and Vie. 1995. N 939. P. 86-94.
34. **Ducrocq A.** Nuclear will become fashionable again in the 21st century //Revenu Francais. 1992. N 265. P. 76.
35. The radioactive «Camps of death» in Siberia» //Europe Today. 1993. N 172. P. 12.
36. **Foos J.** Radioactive – Volume 1: The atom and the atomic core //Formascience, Orsay, 1993.
37. **Frot J.** The causes of the Chernobyl event. EFN/RGN, March 2001.
38. **Grachev V., Plyamina O.** Environmental performance of various methods of electric power generation //Ecology, Environment and Conservation Paper. 2016. V. 22, N 3. P. 1539-1548.
39. Radiobiology. Hermann Publications, 1986.
40. Scientists want more nuclear power plants //Europe Today. 1992. N 148. P. 16.
41. **Арутюнян Р.В., Большов Л.А., Линге И.И., Мелихова Е.М., Панченко С.В.** Уроки Чернобыля и Фукусимы: актуальные проблемы совершенствования системы защиты населения и территорий при авариях на АЭС //Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2016. Т. 61, № 3. С. 36-51.
42. **Мелихова Е.М., Быркина Е.М., Першина Ю.А.** О некоторых механизмах социального усиления риска для здоровья при освещении в СМИ аварии на АЭС Фукусима //Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2013. Т. 58, № 4. С. 5-16.

Risk-oriented approach to analysis of safety living in the vicinity of atomic energy facilities. Review

Arutunyan R.V.¹, Grachev V.A.²

¹ IBRAE RAS, Moscow;

² State Corporation Rosatom, Moscow

At present much attention is paid to the development of safe, ecologically pure and cost-effective atomic energy industry. To ensure the safe living in the vicinity of the atomic energy facilities it is very important to carry out environmental expertise at all levels of the facilities construction, beginning from project designing, constructing, operation and decommissioning of the facilities. Risk-oriented approach is considered as the most effective approach to the assessment of consequences of the human impact on the environment and the management of environmental safety. This approach is based on analysis risks to public health, and allows comparison of impacts of different factors. Estimates of risk to public health are integral elements of the environmental expertise of projects of newly constructed or reconstructed atomic energy facilities, recovery of contaminated areas are used in the USA and in the West Europe. This approach is widely used in Russia. From analysis of the present-day hygienic standards it is seen that regulation of chemical substances effects is less strong as compared with the regulation of radiation effects. Analysis of carcinogenic risk of radiation and other environmental factors, as well as health effects of different environmental factors on the population living nearby of the Leningrad and Novovoronezh NPPs and in the City of Angarsk revealed that health risks from radiation were negligible (10^{-6}) and considerably less than risks from other harmful factors.

Key words: radiation risk, risk-oriented approach, carcinogenic risk, chemical risk, radiation dose, industrial emissions, individual risk, acceptable risk, targeted risk, negligible risk, Leningrad NPP, Novovoronezh NPP, Angarsk enterprises.

References

1. Arutunyan R.V., Vorobyova L.M., Panchenko S.V., Bakin R.I., Novikov S.M., Shashina T.A., Dodina N.S., Goryaev D.V., Tikhonova I.V., Kurkatov S.V., Skudarnov S.E., Ivanova O.Yu. Comparative analysis of radiation and chemical risks for the health of the population of the Krasnoyarsk Territory. *Radiatsiya i risk – Radiation and Risk*, 2014, vol. 23, no. 2, pp. 123-136. (In Russian).
2. National Council on Radiation Protection and Measurements. Ionizing radiation exposure of the population of the United States. Bethesda, MD: National Council on Radiation Protection and Measurements; NSRP Report 160, 2009.
3. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and effects of ionizing radiation. UNSCEAR 2000. Report to the General Assembly with scientific annexes. New York, United Nations, 2000.
4. National Research Council. Health risks from exposure to low levels of ionizing radiation: BEIR VII Phase 2. Washington, DC: The National Academies Press, 2006.
5. International Atomic Energy Agency. Chernobyl's legacy: Health, Environmental and socioeconomic impacts. The Chernobyl Forum 2003–2005. IAEA/PI/A.87 Rev.2/06-09181. Vienna, IAEA, 2006.
6. Keller W., Modarres A. A historical overview of probabilistic risk assessment development and its use in the nuclear power industry: a tribute to the late Professor Norman Carl Rasmussen. *Reliability Engineering and System Safety*, 2005, vol. 89, no. 3, pp. 271-285.
7. Rashad S.M., Hammad F.H. Nuclear power and the environment: comparative assessment of environmental and health impacts of electricity-generating systems. *Appl. Energy*, 2000, vol. 65, no. 1-4, pp. 211-229.

Arutunyan R.V.* – Deputy Director, D. Sc., Phys.-Math., Prof. IBRAE RAS. Grachev V.A. – Adviser Director General, Corresponding Member of RAS, Prof. State Corporation Rosatom.

*Contacts: 52 Bolshaya Tulkaya Str., Moscow, Russia, 115191. Tel.: (495) 955-22-09 (484); e-mail: arut@ibrae.ac.ru.

8. Results of radiation-hygienic certification in the subjects of the Russian Federation for 2008 (radiation-hygienic passport of the Russian Federation). Available at: <http://www.alppp.ru/law/bezopasnost-i-ohrana-pravoporjadka/19/rezultaty-radiacionno-gigienicheskoy-pasportizacii-v-subektah-rossijskoj-federacii-za-2008.html> (Accessed 16.05.2018). (In Russian).
9. Radiation safety standards (RSS-99/2009). Sanitary-epidemiological rules and standards. SP2.6.1.252309. Moscow, Federal Center of Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor, 2009. 100 p. (In Russian).
10. **Nair R.R., Rajan B., Akiba S., Jayalekshmi P., Nair M.K., Gangadharan P., Koga T., Morishima H., Nakamura S., Sugahara T.** Background radiation and cancer incidence in Kerala, India-Karanagappally cohort study. *Health Phys.*, 2009, vol. 96, no. 1, pp. 55-66.
11. **Thompson D.E., Mabuchi K., Ron E., Soda M., Tokunaga M., Ochikubo S., Sugimoto S., Ikeda T., Terasaki M., Izumi S., Preston D.L.** Cancer incidence in atomic bomb survivors. Part II: Solid tumors, 1958-1987. *Radiat. Res.*, 1994. vol. 137, pp. S17-S67.
12. **Bolus N.E.** NCRP Report 160 and what It means for medical imaging and nuclear medicine. *J. Nucl. Med. Technol.*, 2013, vol. 41, no. 4, pp. 255-260.
13. International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 27. Problems involved in developing an index of harm. Oxford, PergamonPress, 1977.
14. **Filyushkin I.V., Petoyan I.M.** Theory of carcinogenic risk of exposure to ionizing radiation. Moscow, Energoatomisdat, 1988. 160 p. (In Russian).
15. **Onishchenko G.G., Novikov S.M., Rakhmanin Yu.A., Avaliani C.L., Bushtueva K.A.** Basis for assessing the risk to public health in the presence of chemicals polluting the environment. Eds.: Yu.A. Rakhmanin, G.G. Onishchenko. Moscow, State Organization A.N. Sysin Research Institute of Human Ecology and Environmental Health, 2002. 408 p. (In Russian).
16. **Novikov S.M., Avaliani S.L., Andrianova M.M., Ponomareva O.V.** The main elements of the health risk assessment: A manual for seminars. Moscow, Consulting Center for Risk Assessment, 1998. (In Russian).
17. Guidance on assessing the health risks of the public when exposed to chemicals that pollute the environment. P 2.1.10.1920-04. Moscow, Federal Center of State Sanitary and Epidemiological Control, Ministry of Public Health and Social Development of the Russian Federation, 2004. 143 p. (In Russian).
18. **Blees T.** Prescription for the planet. The painless remedy for our energy and environmental crises. Moscow, Center for the promotion of social and environmental initiatives of the nuclear industry, 2011. 282 p.
19. **Panchenko S.V., Arakelyan A.A., Vedernikova M.V.** Comparative assessment of radiation and toxic risks in Angarsk. *Radiatsiya i risk – Radiation and Risk*, 2017, vol. 26, no. 2, pp. 83-96. (In Russian).
20. Environmental policy of the State Atomic Energy Corporation ROSATOM. Ed.: V.A. Grachev. Moscow, Center for the promotion of social and environmental initiatives of the nuclear industry, 2011. 350 p.
21. Annual Energy Outlook 2000 with Projections to 2020. Energy Information Administration Office of Integrated Analysis and Forecasting U.S. Department of Energy, Washington, DC 20585, 1999, p. 250. Available at: [https://www.eia.gov/outlooks/archive/aeo00/pdf/0383\(2000\).pdf](https://www.eia.gov/outlooks/archive/aeo00/pdf/0383(2000).pdf) (Accessed 05.06.2018).
22. **Akatov A.A., Koryakovsky Yu.S.** Radiation mythology. Moscow, Center for the promotion of social and environmental initiatives of the nuclear industry, 2010. 35 p. (In Russian).
23. **Arakelyan A.A., Panchenko S.V., Strizhova S.V., Shashina T.A.** Comparative analysis of radiation and chemical risks in region of the Leningrad NPP location. Report at the Eleventh International Scientific and Technical Conference. Safety, Efficiency and Economics of Nuclear Energy (ISTC-2018). Moscow, 23-24 May 2018. (In Russian).
24. **Arutyunyan R.V.** Chernobyl – Fukushima: travel notes of the liquidator. Moscow, 2018. 364 p. (In Russian).
25. Global health risks: mortality and burden of disease attributable to selected major risks. WHO, 2015. Available at: http://www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/GlobalHealthRisks_report_full.pdf?ua=1&ua=1 (Accessed 05.06.2018).
26. Regulations (Constitution) of the World Health Organization. Available at: <http://apps.who.int/gb/bd/PDF/bd47/RU/constitution-ru.pdf?ua=1> (Accessed 05.06.2018).

27. **Plyamina O.V., Grachev V.A.** Environmental performance indicators and their place in the economy. *Vestnik MNEPU*, 2012, vol. 5, pp. 71-80.
28. World Nuclear Association. Available at: <http://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/france.aspx> (Accessed 05.06.2018).
29. **Grachev V.A.** Interconnection of global environmental problems of public health and development of nuclear energy. *Ekologiya cheloveka – Human Ecology*, 2018, no. 2, pp. 9-15. (In Russian).
30. On the state of sanitary and epidemiological welfare of the population in the Russian Federation in 2016: State report. Moscow, Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Welfare, 2017. 220 p. (In Russian).
31. **Akimoto Y.** Nuclear power, ensuring not only safety but also peace of mind. *Plutonium*, 2000, no. 31.
32. **Barnier M.** The development of eco-citizenship. *La Jaune et la Rouge*, 1994, p. 3.
33. **Dubrana D.** The Bulgarian Chernobyl and Nuclear energy and cancer: a disturbing inquiry. *Science and Vie*, 1995, no. 939, pp. 86-94.
34. **Ducrocq A.** Nuclear will become fashionable again in the 21st century. *Revenu Francais*, 1992, no. 265, p. 76.
35. The radioactive «Camps of death» in Siberia». *Europe Today*, 1993, no. 172, p. 12.
36. **Foos J.** Radioactive – Volume 1: The atom and the atomic core. *Formascience, Orsay*, 1993.
37. **Frot J.** The causes of the Chernobyl event. EFN/RGN, 2001.
38. **Grachev V., Pliamina O.** Environmental performance of various methods of electric power generation. *Ecology, Environment and Conservation Paper*, 2016, vol. 22, no. 3, pp. 1539-1548.
39. Radiobiology. Hermann Publications, 1986.
40. Scientists want more nuclear power plants. *Europe Today*, 1992, no. 148, p. 16.
41. **Arutyunyan R.V., Bolshov L.A., Linge I.I., Melikhova E.M., Panchenko S.V.** Lessons of Chernobyl and Fukushima and actual problems of development of the system of radiation protection of the population and territories in case of a Nuclear Power Plant accident. *Meditinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost' – Medical Radiology and Radiation Safety*, 2016, vol. 61, no. 3, pp. 36-51. (In Russian).
42. **Melikhova E.M., Byrkina E.M., Pershina Y.A.** On the issue of certain mechanisms of social amplification of risk in media coverage of the Fukushima NPP nuclear accident. *Meditinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost' – Medical Radiology and Radiation Safety*, 2013, vol. 58, no. 4, pp. 5-16. (In Russian).