

ОТЗЫВ

официального оппонента КЛОЧКОВА Владимира Николаевича,
главного научного сотрудника ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна
ФМБА России, доктора технических наук
на диссертационную работу АРАКЕЛЯНА Арама Айковича по теме
«Комплексный метод обоснования радиационной безопасности и экологической
приемлемости объектов ядерной техники», представляемую
на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности
2.4.9 – Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная
безопасность

Соискатель ученой степени кандидата технических наук А.А Аракелян представил диссертацию в виде специально подготовленной рукописи, написанной единолично. Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук» (ИБРАЭ РАН). Научные руководители – доктор физико-математических наук Р.В. Арутюнян, доктор технических наук И.И. Линге.

Диссертантом сформулирована основная **цель работы**: разработка и применение комплексного метода оценки радиационных и химических рисков для населения при обосновании радиационной безопасности и экологической приемлемости предприятий атомного энергопромышленного комплекса (АЭПК).

Для достижения поставленной цели диссертантом определены **5 задач**, которые необходимо решить:

1. Систематизация условий функционирования основных предприятий АЭПК России и выделение типовых объектов и ситуаций.

2. Анализ существующих методологических подходов к оценке эффектов вредного воздействия радиоактивных и химических веществ и обоснование выбора наилучших для сравнительной оценки рисков в районе расположения предприятий АЭПК;

3. Разработка и обоснование программных средств для оценки полей воздействия различных вредных веществ в пространстве городской среды с учётом характеристик площадок и региональных особенностей районов их расположения;

4. Выполнение оценок радиационных и химических рисков для населения районов расположения ряда основных типов объектов использования атомной энергии (ОИАЭ) и их обобщение;

5. Разработка рекомендаций по применению комплексного метода и мер по управлению рисками

Тема диссертационной работы А.А Аракеляна имеет большое **практическое значение**. Существующие в настоящее время методы обоснования радиационной безопасности не позволяют проводить фактическую оценку безопасности на любом этапе эксплуатации и жизненного цикла. Соблюдение установленных нормативных уровней сбросов и выбросов в ходе эксплуатации ОИАЭ подтверждает безопасность лишь на качественном уровне, тогда как для количественной оценки необходимо проводить более детальный и глубокий анализ факторов воздействия.

Наибольшим потенциалом в этой области обладает методология анализа риска, которая позволяет доказательно продемонстрировать, что экологическое воздействие производств АЭПК находится не только в допустимых (приемлемых) пределах, но и количественно (в единицах риска) измерить его потенциальное воздействие, а также обеспечить оптимизацию расходов на обеспечение радиационной безопасности в условиях действия существенно более опасных факторов.

Тема диссертационной работы А.А. Аракеляна соответствует пункту 6 «Разработка методов обоснования ядерной и радиационной безопасности и экологической приемлемости технологий и объектов ядерной техники» **Паспорта специальности 2.4.9.**

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы. Работа изложена на 144 страницах, включая 131 страницу текста диссертации и сведения о публикациях на 13 страницах. Список литературы включает 131 библиографическую ссылку, в том числе 30 российских и международных нормативно-методических и правовых документов. Работа иллюстрирована 52 рисунками и 32 таблицами.

Во **введении** (8 страниц текста) кратко обоснована актуальность проблемы, сформулированы цель и задачи исследований.

Во введении также приведены сведения о научной новизне и практической значимости, внедрении и апробации работы. Сформулированы положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** диссертации «Эволюция экологических требований к объектам использования атомной энергии» (23 страницы текста) представлен аналитический обзор научно-технической литературы, в том числе описано современное состояние методологии оценок техногенного риска в Российской Федерации и формирование критериев экологической приемлемости.

Рассмотрены примеры формирования промышленных площадок АЭПК и установления экологических требований на начальном этапе развития атомной отрасли. Проанализированы современные требования в области радиационной и экологической безопасности, регулируемые Федеральными законами № 170-ФЗ от

21.11.1995 «Об использовании атомной энергии» и от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды».

Показана актуальность и практическая значимость разработки и применения комплексного метода оценки радиационных и химических рисков вредного воздействия на население при обосновании радиационной безопасности и экологической приемлемости предприятий АЭПК.

Таким образом, первая глава позволила диссертанту сформулировать и обосновать цель и задачи диссертационной работы.

Из недостатков содержания первой главы необходимо отметить, аморфные формулировки задач и несовпадение формулировок задач с названиями глав диссертации.

Вторая глава «Выбор типовых объектов ядерной техники для проведения оценок» (26 страниц текста) посвящена очень важному вопросу выбора объектов исследований, т.е. типовых площадок объектов АЭПК, на которых можно наиболее достоверно выделить источники техногенного воздействия в районе расположения ОИАЭ, и основные показатели санитарно-эпидемиологической обстановки селитебной зоны, необходимые для дальнейшей оценки радиационных и химических рисков неблагоприятного воздействия на население.

Диссертант обоснованно предложил на начальной стадии разработки метода оценки радиационных и химических рисков исключить из рассмотрения крупные промышленные центры из-за большой совокупности разнонаправленных факторов воздействия на здоровье человека, моногорода, в которых присутствует, как правило очень ограниченная совокупность факторов, а также площадки многопрофильных радиационных объектов, таких как ФГУП «ПО «Маяк», ФГУП «ГХК», АО «СХК».

В итоге для выполнения сравнительной оценки радиационных и химических рисков были выбраны 6 площадок.

Ангарск (221 тыс. чел.): АО «АЭХК» + ИТЭЦ-1, ИТЭЦ-9, ИТЭЦ-10, АО «Ангарская нефтехимическая компания» (АО «АНХК»), АО «Ангарский цементно-горный комбинат» (АО «АЦГК»);

Обнинск (130 тыс. чел.): АО «ГНЦ РФ – ФЭИ» + АО «НИФХИ»;

Сосновый Бор (63 тыс. чел.): Ленинградская АЭС + Ленинградское отделение Северо-Западного ТО ФГУП «РАДОН» + ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова»;

Новоуральск (78 тыс. чел.): АО «УЭХК»;

Электросталь (142 тыс. чел.): ПАО «МСЗ»;

Димитровград (111 тыс. чел.): АО «ГНЦ НИИАР».

Площадки достаточно однородны по численности населения и сочетанию промышленных объектов, определяющих радиационное и химическое воздействие на население и природную среду.

На основе анализа научной литературы и официальных информационных источников (государственные доклады, ежегодники Гидрометцентра и Минприроды, отчеты по экологической безопасности предприятий, информационные материалы регионов, официальные электронные ресурсы и др.) диссертантом для каждой площадки получены качественные и количественные данные о масштабе вредных воздействий на население и природную среду.

Существенным источником экологической информации стала монография ИБРАЭ РАН «Радиоэкологическая обстановка в регионах расположения предприятий государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» в которой диссертант является соавтором, а также другие публикации диссертанта.

Среди факторов вредного воздействия рассмотрены:

- валовый выброс загрязняющих веществ (в том числе радиоактивных) в атмосферу;
- перечень и объемы загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу;
- качество питьевой воды;
- уровни загрязнения атмосферного воздуха по данным стационарных постов измерения – позволяют учесть вклад автомобильного транспорта.

Также для каждой площадки учтено загрязнение территории в результате крупных радиационных аварий на Чернобыльской АЭС и АЭС «Фукусима-дайти».

Для Соснового Бора дополнительно учтено содержание радионуклидов в рыбе, выловленной в Копорской губе.

В результате выполненной работы для выбранных шести площадок проведена идентификация основных источников загрязнения атмосферного воздуха, систематизированы данные по выбросам радиоактивных и вредных химических веществ, а также их содержанию в компонентах окружающей среды. Выполнен анализ данных по радиационной и экологической обстановке.

Из недостатков второй главы можно отметить несколько произвольное изложение материалов по различным площадкам – было бы полезно выработать единую для всех площадок схему представления исходных для дальнейшего расчета рисков.

Третья глава «Выбор базовых моделей для проведения оценки рисков, их развитие и программная реализация» (32 страницы текста) является главной в диссертации – в этой главе изложены методологическая основа, математический аппарат и программная реализация оценки рисков для обоснования радиационной безопасности и экологической приемлемости используемых ядерных технологий.

Основное внимание уделено загрязнению воздуха радиоактивными и химически токсичными веществами, но в необходимых случаях учитывается загрязнение воды.

Изложение методологической основы включает анализ неопределенностей, сопровождающих как используемые входные данные, так и алгоритмы выполнения расчетов риска. Это очень важно, поскольку оценка рисков оперирует большими массивами разнородных данных, которым внутренне присущи большие неопределенности (климатические, в том числе времена года; демографические, исторические и др.).

С учетом больших неопределенностей диссертант вполне обоснованно придерживается концепции социально приемлемого риска, одним из следствий которой является отказ от попыток получить точные оценки риска в области очень низких значений рисков, поскольку угрозы здоровью населения от различных источников следует снижать до такого низкого значения, которое обосновано исходя из текущих социально-экономических условий (принцип ALARA).

При расчете канцерогенных рисков воздействия химических веществ используются:

- фактические значения содержания вредных химических веществ в компонентах окружающей среды;
- детализированная статистика о заболеваемости и смертности населения;
- потенциальная доза воздействия загрязняющего вещества на человека – в виде пожизненной среднесуточной потенциальной дозы;
- фоновая онкологическая заболеваемость.

При расчете химических рисков в диссертации использованы фундаментальные публикации российских ученых (Г.Г. Онищенко Новикова С.М., Рахманина Ю.А. и др.).

Расчет радиационных рисков основан на моделях МКРЗ, НКДАР ООН и разработках российских ученых (И.И. Линге, И.И. Крышева, В.К. Иванова и др.).

Используются фактические значения содержания радиоактивных веществ в компонентах окружающей среды, полученные в собственных исследованиях диссертанта, а также детализированная государственная статистика о заболеваемости и смертности населения;

Недостатки главы 3:

Формулировки этапов оценки рисков, представленные в первом абзаце главы (с. 60) не совпадают с названиями этапов на схеме выполнения оценки радиационных и химических рисков (рис. 3.1) и выводами по главе 3 (с. 91).

Текст главы необоснованно усложнен, понимание затрудняют разные формулировки одних и тех понятий, например, формулировки этапов комплексного метода:

Номер этапа	В первом абзаце главы (с. 60)	На рис. 3.1 (с. 61)	В выводах по главе 3 (с. 91)
1	сбор необходимого массива исходных данных мониторинга состояния компонентов окружающей среды, об источниках негативного воздействия, метеопараметров, характеристик селитебных зон, медико-демографических данных	Идентификация потенциально опасных факторов	Идентификация опасности
2	выбор приоритетных параметров для оценки риска	Отбор параметров для оценки риска	Отбор параметров риска (установление зависимости «доза–ответ»)
3	применение специально созданных программных модулей для дополнения данных мониторинга расчетными оценками по уровням воздействия на население	Оценка экспозиции. Выбор параметров негативного воздействия, количественная оценка экспозиции	Оценка экспозиции
4	непосредственная сравнительная оценка рисков радиационного и химического происхождения	Характеристика рисков и ущербов здоровью населения. Расчеты индивидуальных и суммарных канцерогенных рисков в отдельных средах и при многосредовом воздействии, ущербов здоровью от классических загрязнителей	Количественная оценка рисков

Также недостатком является отсутствие информации об авторах программных средств, поэтому трудно установить личный вклад соискателя.

В четвертой главе «Сравнительная оценка радиационных и химических рисков в районах расположения ОИАЭ» (34 страницы) представлены результаты оценки радиационных и химических рисков в шести районах расположения радиационных объектов.

Радиационная и химическая обстановка усреднена с учетом розы ветров и других факторов.

Ангарск: Соотношение техногенных химических и радиационных рисков для населения Ангарска 2300 к 1.

Обнинск: Мелкодисперсная фракция мелкодисперсной фракции взвешенных веществ создает риск дополнительной смертности при хроническом ингаляционном поступлении $2,1 \cdot 10^{-4}$. Газоаэрозольные выбросы радиоактивных и

химических веществ АО «ГНЦ РФ-ФЭИ» создают для населения Обнинска дополнительные индивидуальные пожизненные риски порядка 10^{-6} .

Новоуральск: Диоксид серы создает уровень потенциального риска, превышающий допустимый для населения России. Остальные химические загрязнители, в том числе обладающие канцерогенными свойствами, создают риски ниже $1 \cdot 10^{-5}$. Радиационный риск от ингаляционного воздействия изотопов урана в общей структуре рисков не превышает 0,06%, т.е. $\sim 10^{-8}$.

Электросталь: Риск от современных выбросов МСЗ за счет урана составляет около $1,4 \cdot 10^{-8}$. Загрязнение воздуха различными химическими веществами создает риск $3,1 \cdot 10^{-4}$.

Сосновый Бор: Максимальная оценка величины риска для здоровья человека от радиоактивного загрязнения окружающей среды в результате выбросов и сбросов объектов атомной отрасли в период 2015-2020 гг. не превышала $1 \cdot 10^{-7}$. Значения риска от взвешенных веществ (мелкодисперсной пыли) в воздухе Соснового Бора: $(5,0-8,0) \cdot 10^{-5}$.

Димитровград: Значение радиационного риска для населения селитебной зоны города в среднем находится на уровне $2,9 \cdot 10^{-8}$, в целом же для ГО Димитровград – $5,4 \cdot 10^{-8}$. Оценка канцерогенного риска на основе данных мониторинга состояния атмосферного воздуха: бензол $1,9 \cdot 10^{-4}$, формальдегид $7,7 \cdot 10^{-5}$.

Выводы к главе 4 излишне краткие. Итоговые результаты представлены в виде гистограммы на рисунке 4.23 - Результаты оценки уровней риска для населения за счёт воздействия рассмотренных ОИАЭ и суммарных техногенных рисков. Такой формат представления самых важных результатов диссертации нельзя признать удачным.

Пятая глава диссертации «Рекомендации по применению комплексного метода обоснования радиационной безопасности и экологической приемлемости ОИАЭ» представляет собой краткий раздел (4 страницы), в котором представлены перспективные направления применения комплексного метода или его отдельных компонентов:

1. Обоснование размещения новых ОИАЭ в рамках документов, сопровождающих этапы размещения, проектирования и сооружения – предложено проводить оценку рисков в дополнении к существующим требованиям к оценке доз облучения для населения, в том числе и на этапе ОБИН, для обоснования издержек при проведении мероприятий по профилактике радиационных рисков.

2. Организация расширенного снятия фона – предложено обеспечить рассмотрение всех основных факторов воздействия в районе расположения ОИАЭ и снятия более широкого спектра фоновых показателей состояния окружающей среды (в частности, атмосферного воздуха).

3. Оптимизация сети наблюдения за состоянием окружающей среды в районах расположения ОИАЭ и на городских территориях – рекомендовано проводить оценку экологического воздействия площадок АЭПК и иных источников загрязнения в районах их расположения, используя как результаты радиационного и экологического контроля существующей сети мониторинга, так и результаты моделирования фактических выбросов наиболее значимых с точки зрения возможного влияния на состояние окружающей среды предприятий. Разработанный метод позволяет получить оценки уровней техногенных рисков для населения всего исследуемого района, определить критические территории и степень вклада выбросов ОИАЭ и иных предприятий.

4. Оптимизация мер по улучшению экологической ситуации - ранжирование факторов негативного воздействия позволяет определить вещества (радиоактивные и/или вредные химические), формирующие наибольшие среди прочих уровни риска, и рекомендовать для них более детальный и регулярный контроль службами мониторинга в городе и непосредственно на самих предприятиях в отношении источников загрязнения. Разработанный метод предлагает в качестве основной количественной характеристики воздействия использовать оценку риска дополнительной смертности, что позволяет проводить сравнение рисков различной природы.

В разделе **Заключение** кратко в обобщенном виде изложены результаты диссертационного исследования.

Общее заключение по диссертации А.А. Аракеяна по теме «Комплексный метод обоснования радиационной безопасности и экологической приемлемости объектов ядерной техники»:

Актуальность:

Полученные в диссертации результаты актуальны в связи остротой проблемы обоснования радиационной безопасности и экологической приемлемости объектов ядерной техники.

Наибольшим потенциалом в этой области обладает методология анализа риска, позволяющая сопоставлять вредные и опасные факторы различной природы. Применение указанной методологии позволяет не только продемонстрировать, что экологическое воздействие производств АЭПК находится в допустимых (приемлемых) пределах, но и количественно определить его роль.

Разработанный комплексный метод обоснования экологической приемлемости позволяет также оптимизировать расходы на обеспечение безопасности в условиях действия факторов различной природы.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждается

квалифицированным применением современных теоретических и расчетных методов, использованием в качестве исходных данных результаты, полученные лицензированными службами радиационного и экологического контроля (ОИАЭ, федеральных, региональных, муниципальных и иных государственных органов, коммерческих организаций) с применением утвержденных методик и средств измерений.

Результаты моделирования рассеивания атмосферных выбросов в воздушной среде верифицированы на расчётах, получены с помощью программного средства, аттестованного в Ростехнадзоре, а также валидированы на данных контроля загрязнения атмосферного воздуха в селитебных зонах.

Новизна полученных результатов определяется, в первую очередь, новыми подходами, реализованными в комплексном методе обоснования радиационной безопасности и экологической приемлемости производства АЭПК, позволяющем учитывать все основные виды негативного воздействия объекта и оценивать радиационные и химические риски с учетом локальных особенностей его размещения и проживания населения.

Новизной отличаются и другие предложенные диссертантом решения, реализованные в программных продуктах.

Положения, выносимые на защиту, в достаточной степени обоснованы в тексте диссертации, хотя их формулировки отличаются некоторой декларативностью.

Опубликование основных результатов диссертации в научной печати подтверждается проверкой на Интернет-ресурсе «Научная электронная библиотека ELibrary.ru». В результате сопоставления с Перечнем рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (по состоянию на 10.06.2024 года) подтверждено опубликование научных работ, указанных в автореферате в разделе «Основные публикации по теме диссертации»:

- 3 статьи в журналах, индексируемых в международной базе данных Scopus и входящих в Russian Science Citation Index,
- 2 статьи в ведущих реферируемых отечественных журналах из списка, рекомендованного ВАК при Минобрнауки России.
- разделы в 3 монографиях.

Подтверждено также наличие других публикаций диссертанта, сведения о которых приведены в диссертации и автореферате.

Таким образом, с учетом требований, установленных Рекомендацией ВАК при Минобрнауки России от 26.10.2022 № 2-пл/1 «О новых критериях к

соискателям ученых степеней кандидата наук, доктора наук, к членам диссертационных советов», опубликование основных результатов кандидатской диссертации в научной печати по диссертации А.А. Аракеляна соответствует установленным требованиям.

Содержание автореферата диссертации объективно раскрывает содержание диссертации.

Личный вклад диссертанта в получение представленных в диссертации материалов не вызывает сомнений и подтверждается, в том числе, публикациями результатов исследований, выполненных непосредственно на площадках промышленных предприятий, разработкой комплексного метода обоснования радиационной безопасности и экологической приемлемости радиационных объектов, представлением результатов исследований на научных конференциях и семинарах (9 докладов).

Ряд замечаний, в основном редакционного или терминологического типа, указан выше при анализе глав диссертации.

В целом по диссертации в качестве пожелания для дальнейшей работы следует отметить необходимость привлечения в методы оценки радиационных и химических рисков для населения более подробных данных демографической ситуации и миграции населения.

Также следует рассмотреть при представлении итоговых результатов обоснования радиационной безопасности и экологической приемлемости радиационных объектов целесообразность округления значений риска до порядка величины

Следует обратить внимание на правильное использование полных и сокращенных названий федеральных учреждений, которые утверждены Правительством Российской Федерации. В частности, Положением о Федеральном медико-биологическом агентстве, утвержденном постановлением Правительства Российской Федерации от 11.04.2005 № 206, установлено сокращение ФМБА России, которое следует использовать.

В целом, следует положительно оценить то, что сделано диссертантом, понимая, что выполненная работа представляет собой первый, но очень важный шаг в создании, практическом применении и распространении на всю атомную отрасль комплексного метода обоснования радиационной безопасности и экологической приемлемости объектов ядерной техники

Диссертационная работа А.А. Аракеляна представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, в которой содержится решение актуальной научной и практической задачи, имеющей важное значение для обоснования радиационной безопасности и экологической приемлемости объектов ядерной

техники. По актуальности, объему выполненных работ, методическому уровню, научной новизне и практической значимости полученных результатов настоящая работа полностью соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения научных степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842 (в редакции Постановления от 26.05.2020 № 751), предъявляемым к кандидатским диссертациям. **Аракелян Арам Айкович** заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности «2.4.9 Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность».

Официальный оппонент

Главный научный сотрудник
ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна
ФМБА России, доктор технических наук,
старший научный сотрудник, доцент



В.Н. Ключков

16.08.2024

Подпись главного научного сотрудника, д.т.н. Ключкова В.Н. заверяю:

Ученый секретарь ФМБА России,
доктор медицинских наук



Е.В. Голобородько