

Оценка рисков

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2019

Новиков С.М.¹, Шашина Т.А.¹, Додина Н.С.¹, Кислицин В.А.², Скворонская С.А.², Мацюк А.В.², Панченко С.В.³, Аракелян А.А.³

ОПЫТ ПРАКТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО СРАВНИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКЕ РАДИАЦИОННЫХ И ХИМИЧЕСКИХ РИСКОВ ЗДОРОВЬЮ НАСЕЛЕНИЯ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ФАКТОРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

¹ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, 141014, Московская область, г.п. Мытищи;

²Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 119991, Москва;

³ФГБНУ Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук, 115191, Москва

Введение. Мировая практика решения экологических проблем показала эффективность применения современных схем управления качеством окружающей среды, основанных на анализе и управлении рисками.

Материал и методы. Применение методологии оценки и анализа риска позволяет получать количественные характеристики возможного ущерба, сравнивать потенциальные последствия воздействия радиационных и химических факторов, определять приоритетные источники опасности. Основными направлениями практического использования результатов оценки рисков, связанных с воздействием химических веществ, загрязняющих окружающую среду, являются: ранжирование сельских территорий по уровням рисков здоровью населения от изучаемых факторов, планирование и оценка результатов санитарно-гигиенического мониторинга (СГМ), в том числе корректировка планов его организации и проведения с учётом приоритетных источников загрязнения среды, первоочередное регулирование источников рисков, представляющих наибольшую угрозу здоровью населения.

Результаты. Разработаны подходы к проведению исследований по сравнительной оценке канцерогенного риска и ущерба здоровью населения от ионизирующего излучения и химических канцерогенов в различных объектах окружающей среды. Результаты исследований в местах размещения объектов атомной промышленности на территории Свердловской области, Кольского полуострова, Воронежской области, Красноярского края и Ленинградской области свидетельствуют о значительно большем влиянии на состояние здоровья населения химического фактора риска по сравнению с радиационным.

Заключение. Проведённые исследования показали, что вклад объектов использования атомной энергии в формирование техногенного риска здоровью населения пренебрежимо мал и на порядок меньше вкладов риска от объектов, выбрасывающих вредные химические вещества. Атмосферный воздух является основной средой формирования рисков здоровью при многосредовом воздействии химических веществ. Поэтому меры, направленные на улучшение качества атмосферного воздуха, следует расценивать как приоритетные для реализации мероприятий по сохранению здоровья населения. Разработана принципиальная схема сравнительной оценки радиационных и химических рисков.

Ключевые слова: риск здоровью населения; ионизирующее излучение; химическое загрязнение; канцероген; социально-гигиенический мониторинг (СГМ).

Для цитирования: Новиков С.М., Шашина Т.А., Додина Н.С., Кислицин В.А., Скворонская С.А., Мацюк А.В., Панченко С.В., Аракелян А.А. Опыт практических исследований по сравнительной оценке радиационных и химических рисков здоровью населения от воздействия факторов окружающей среды. *Гигиена и санитария*. 2019; 98(12): 1425-1431. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-12-1425-1425-1431>

Для корреспонденции: Шашина Татьяна Александровна, кандидат мед. наук, вед. науч. сотр. ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, 141014, Московская область, г.п. Мытищи. E-mail: sta815@mail.ru

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Участие авторов: концепция и дизайн исследования – Новиков С.М., Шашина Т.А., Панченко С.В.; сбор и обработка материала – Додина Н.С., Мацюк А.В., Кислицин В.А., Скворонская С.А., Аракелян А.А.; статистическая обработка – Додина Н.С., Мацюк А.В., Кислицин В.А., Скворонская С.А., Аракелян А.А.; написание текста – Шашина Т.А., Додина Н.С., Аракелян А.А., Панченко С.В.; редактирование – Новиков С.М., Шашина Т.А., Панченко С.В.

Поступила 07.03.2019

Принята к печати 17.09.19

Опубликована: декабрь 2019

Novikov S.M.¹, Shashina T.A.¹, Dodina N.S.¹, Kislitsyn V.A.², Skovronskaya S.A.², Matsuk A.V.², Panchenko S.V.³, Arakelyan A.A.³

THE EXPERIENCE OF EMPIRICAL RESEARCH ON COMPARATIVE ASSESSMENT OF RADIATION AND CHEMICAL HEALTH RISKS DUE TO EXPOSURE TO ENVIRONMENTAL FACTORS

¹F.F. Erisman Federal Scientific Center for Hygiene, Mytishchi, 141014, Russian Federation;

²Centre for Strategic Planning, Moscow, 119121, Russian Federation;

³Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, 115191, Russian Federation

Introduction. The world practice of solving environmental problems has shown the effectiveness of modern environmental quality management schemes based on the analysis and risk management.

Material and Methods. The use of risk assessment and analysis methodology allows obtaining quantitative characteristics of the possible damage, to compare the potential effects of radiation and chemical factors and to determine

priority sources of danger. The main directions of the practical use of results of assessment of the risk arising from the impact of chemicals polluting the environment are: ranking of residential areas according to the levels of health risks from the studied factors, planning and evaluation of the results of social and hygienic monitoring (SHM), including the correction of planning and implementation, taking into account the priority sources of environmental pollution, the priority adjustment of sources of risks posing the greatest threat to public health.

Results. Approaches to the research on the comparative assessment of carcinogenic risk and damage to public health from ionizing radiation and chemical carcinogens in various environmental objects have been developed. The results of studies in the locations of nuclear facilities in the Sverdlovsk region, the Kola Peninsula, the Voronezh region, the Krasnoyarsk territory, and the Leningrad region indicate to a much greater impact of the chemical risk factor on the population health compared to the radiation one. The primary environment of health risks in multimedia risk assessment is the air, what should be considered when developing regional environmental policies.

Conclusion. The conducted studies have shown Contribution of nuclear power facilities to the formation of man-made risk to public health to be negligible and by orders of magnitude smaller than Contribution of risk from facilities emitting harmful chemicals. Atmospheric air is the main environment for the formation of health risks in the multimedia exposure to chemicals. Therefore, measures aimed at improving the quality of air should be regarded as a priority for the implementation of measures to preserve public health. The obtained results allow detecting the priorities of the policy in the field of health protection and sanitary-epidemiological welfare of the population and contribute to the development of a strategy for further environmentally acceptable socio-economic development of the studied regions.

Key words: health risk; ionizing radiation; chemical contamination; carcinogen; social and hygienic monitoring.

For citation: Novikov S.M., Shashina T.A., Dodina N.S., Kislitsyn V.A., Skovronskaya S.A., Matsuk A.V., Panchenko S.V., Arakelyan A.A. The experience of empirical research on comparative assessment of radiation and chemical health risks due to exposure to environmental factors. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)* 2019; 98(12): 1425-1431. (In Russ.). DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-12-1425-1431>

For correspondence: Tatiana A. Shashina, MD, Ph.D., leading researcher of the F.F. Erisman Federal Scientific Center for Hygiene of Tyumen, 141014, Russian Federation. E-mail: sta815@mail.ru

Information about authors:

Novikov S.M., <https://orcid.org/0000-0002-8657-5424>; Shashina T. A., <https://orcid.org/0000-0002-4190-0326>

Dodina N.S., <https://orcid.org/0000-0001-6693-922X>; Kislitsin V.A., <https://orcid.org/0000-0002-6575-2882>

Skovronskaya S.A., <https://orcid.org/0000-0002-6374-9292>; Matsuk A.V., <https://orcid.org/0000-0003-2327-8470>

Panchenko S.V., <https://orcid.org/0000-0002-2750-0940>; Arakelyan A.A., <https://orcid.org/0000-0002-6845-7504>.

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

Acknowledgment. The study had no sponsorship.

Contribution of authors: Concept and design of the study – Novikov S.M., Shashina T. A., Panchenko S.V.; collection and processing of the material – Dodina N.S., Matsuk A.V., Kislitsin V.A., Skovronskaya S.A., Arakelyan A.A.; statistical processing – Dodina N.S., Matsuk A.V., Kislitsin V.A., Skovronskaya S.A., Arakelyan A.A.; writing text – Shashina T. A., Dodina N.S., Arakelyan A.A., Panchenko S.V.; editing – Novikov S.M., Shashina T. A., Panchenko S.V.; approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article - all co-authors.

Received: March 7, 2019

Accepted: September 17, 2019

Published: December 2019

Введение

Мировая практика решения экологических проблем показала эффективность применения современных схем управления качеством окружающей среды, основанных на анализе и управлении рисками [1–9].

Материал и методы

Методология анализа риска является современным научным подходом к оценке и управлению факторами техногенного воздействия на здоровье населения. Применение методологии оценки и анализа риска позволяет получать количественные характеристики возможного ущерба, сравнивать потенциальные последствия воздействия разных по своей природе факторов, например, радиационных и химических, определять приоритетные источники опасности. Эта методология успешно применяется для принятия управленческих решений в области охраны здоровья человека и окружающей среды в большинстве экономически развитых стран [10–15]. Она использована при разработке современных международных рекомендаций по нормам радиационной безопасности, сформулированных Международной комиссией по радиологической защите (МКРЗ).

Среди основных направлений практического использования оценки риска при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду, особое значение придаётся ранжированию селитебных территорий по уровням рисков здоровью населения от изучаемых факторов, планированию и оценке результатов СГМ, в том числе корректировке планов его организации и проведению с учётом приоритетных источников загрязнения среды, первоочередному регулированию источников рисков, представляющих наибольшую угрозу здоровью населения.

Результаты

На основе многолетнего опыта исследований в регионах с потенциальным воздействием техногенных радиационных и химических факторов (Кольский полуостров [16], Воронежская область [17], Красноярский край [18, 19], Свердловская область, Ленинградская область [20]) разработаны основные подходы к идентификации приоритетных направлений в обеспечении радиационной и химической безопасности. В качестве обязательных условий реализации подобных проектов являлись: применение международной методологии анализа риска здоровью населения и участие экспертов в области оценки и анализа радиационных и химических рисков.

Радиационный фактор воздействия на здоровье населения потенциально может приводить к эффектам, схожим с воздействием химических веществ, обладающих канцерогенными свойствами, а также «классических» загрязнений атмосферного воздуха городов, способных приводить к увеличению числа случаев онкологических заболеваний, обострению сердечно-сосудистых и респираторных заболеваний, а также росту дополнительной смертности населения.

Оценка экспозиции изучаемых факторов при многосредовом воздействии проводится с использованием данных мониторинга загрязнений атмосферного воздуха, водной среды, почвы, пищевых продуктов и питьевой воды, а также с помощью моделирования распространения радиоактивных и химических выбросов, поступающих в окружающую среду от стационарных источников. В исследованиях по оценке экологического состояния Ленинградской и Свердловской областей одновременно использовались данные мониторинга качества атмосферного воздуха и моделирования распространения химических веществ, содержащихся в выбросах промышленных предприятий. Синтез

Таблица 1

Средние индивидуальные дозы облучения населения исследуемого района от различных источников облучения в 2013–2015 гг., приведённые в радиационно-гигиенических паспортах Свердловской области [21]

Городской округ	Год	Источники ионизирующего излучения				
		предприятия с ИИИ, мкЗв	техногенный фон, мкЗв	природные, мЗв	медицинские, мЗв	все, мЗв
Верх-Нейвинский	2013	0,38	6,66	4,73	0,23	4,96
	2014	0,36	2,54	3,54	0,2	3,75
	2015	0,36	2,77	3,53	0,2	3,74
Новоуральский	2015	4,0	3,33	3,53	0,15	3,69

двух методов оценки уровней экспозиции позволил увеличить число оцениваемых загрязняющих веществ и районов их распространения в атмосферном воздухе ряда населённых пунктов Ленинградской и Свердловской областей.

Следует отметить, что модельные оценки уровней экспозиции имеют хорошую сходимость с официальными данными федеральных органов, таких как Федеральное медико-биологическое агентство (ФМБА) России. Так, например, среднее значение годовой мощности дозы облучения, полученное с помощью моделирования рассеивания в атмосферном воздухе радиоактивных выбросов, для жителей селитебной зоны Новоуральского и Верх-Нейвинского городских округов Свердловской области находится на уровне 0,13 мкЗв/год, при этом максимальное расчётное значение в исследуемом районе

не превышает 2,6 мкЗв/год. Для сравнения рассчитанных величин дозовой нагрузки на население с оценками доз облучения, приведёнными в радиационно-гигиенических паспортах Свердловской области (табл. 1), отметим, что доза для населения Новоуральского городского округа учитывает не только дозовую нагрузку от техногенных выбросов, но и дозы, полученные непосредственно на предприятии. Расчётные значения среднегодовых доз для населения Верх-Нейвинского городского округа близки к результатам паспортизации данного муниципального образования.

Результаты моделирования рассеивания выбросов позволили привязать результаты оценки рисков к территориальному распределению в регионе расположения объектов использования атомной энергии (рис. 1).

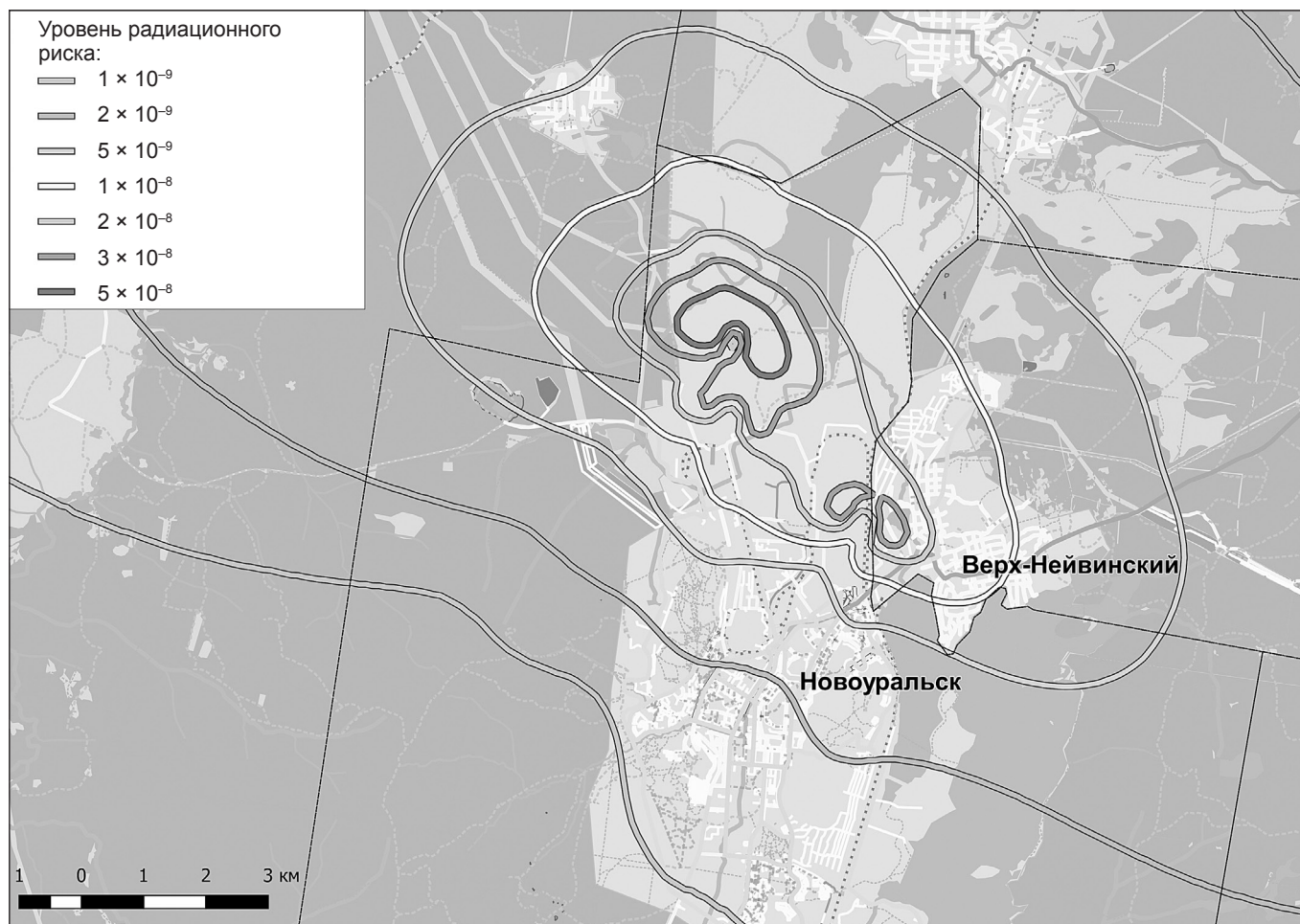


Рис. 1. Оценка уровней техногенного радиационного риска от выбросов стационарных источников на территории Новоуральского и Верх-Нейвинского городских округов Свердловской области.

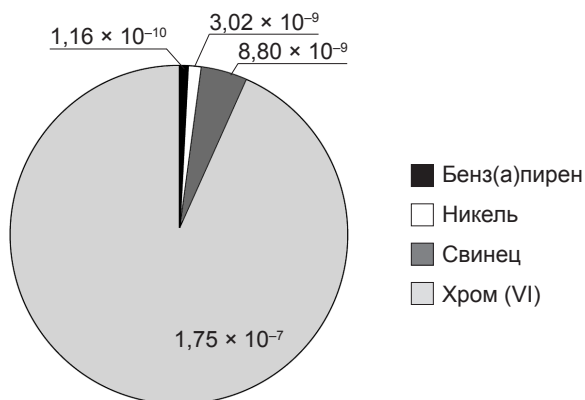


Рис. 2. Структура химических канцерогенных рисков, обусловленных выбросами стационарных источников на территории Новоуральского и Верх-Нейвинского городских округов Свердловской области.

Модельная оценка распространения атмосферных выбросов проведена с помощью программного комплекса «ПРОЛОГ», в основе которого лежит гауссова модель рассеивания примесей в комплексе с «Программой для оценки пространственного распределения радиационных и химических рисков, среднегодовых значений концентраций и плотности поверхностных выпадений от нескольких источников непрерывного действия», успешно апробированной в ряде других работ по оценке техногенных рисков [22–24].

Результаты оценки риска здоровью населения изучаемых территорий, основанные на модельных расчётах рассеивания выбросов канцерогенных веществ от стационарных источников, представлены на рис. 2.

Сопоставление рисков различной природы в Свердловской области показало, что канцерогенный риск от воздействия техногенного ионизирующего облучения в 10 раз ниже канцерогенного риска от экспозиции химических загрязняющих веществ. Для всех канцерогенных веществ индуцируемый риск является пренебрежимо малым.

В Ленинградской области при учёте поступления химических канцерогенов в организм человека из 4 сред установлено, что в Выборгском и Тихвинском районах основной вклад в индивидуальный канцерогенный риск вносит загрязнение атмосферного воздуха, в то время как в Тосненском и Киришском районах канцерогенный риск обусловлен в значительной степени загрязнением питьевой воды и пищевых продуктов [20]. При этом установленные суммарные значения канцерогенного риска в основном превышали приемлемый уровень ($1 \cdot 10^{-6} - 1 \cdot 10^{-4}$) для населения (табл. 2).

При оценке химического загрязнения атмосферного воздуха в Ленинградской области была использована модель ISC3 (Industrial Source Complex, version 3) [25], которая реализует статическую гауссову модель рассеивания шлейфа примесей и оценивает концентрации химических веществ различной длительности осреднения, выбрасываемых совокупностью источ-

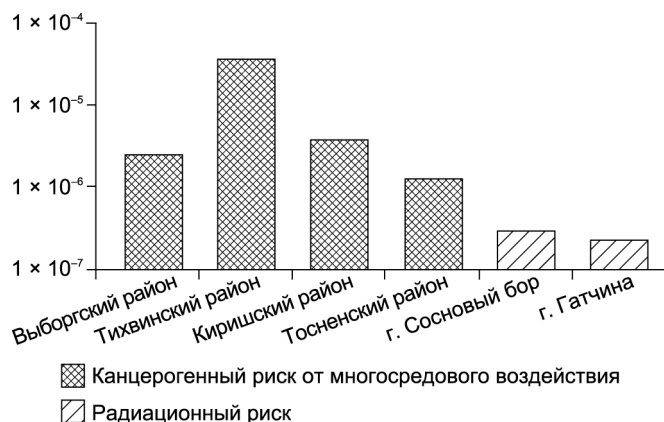


Рис. 3. Сравнительная оценка пожизненного техногенного радиационного и химического канцерогенного риска на территории Ленинградской области.

ников промышленных предприятий. Эта модель применяется в практике аналогичных расчётов за рубежом и имеет положительный опыт использования в России. Привлечение данных моделирования позволило учесть все канцерогены, выбрасываемые изучаемыми промышленными объектами, и увеличить число сравниваемых территорий по величинам канцерогенных рисков и ущербов здоровью населения от загрязнения атмосферного воздуха с 6 до 15.

При оценке и анализе радиационных рисков для населения также рассматривалось многосредовое воздействие при всех возможных путях поступления в организм. Среди возможных путей облучения человека были учтены внешнее облучение от выпадений радионуклидов на поверхность земли и от радиоактивного облака, формируемого выбросами предприятий, а также внутреннее облучение за счёт ингаляционного поступления изотопов в организм и потребления пищевых продуктов. Наибольший вклад в структуру дозовых нагрузок от выбросов предприятий г. Сосновый Бор на население селитебной зоны вносило внешнее облучение от радиоактивных выпадений ($0,14 \text{ мкЗв}$ в 2014 г.). При этом подавляющая часть селитебной зоны находилась на территории с загрязнением ^{137}Cs за счёт выбросов объектов использования атомной энергии, не превышающим $0,05 \text{ Бк/м}^2$, тогда как среднее значение по данному параметру за последнее десятилетие составляло 2 кБк/м^2 , и большая часть цезия на поверхности земли относилась к черномыльским выпадениям 1986 г. Сравнительная оценка пожизненного техногенного радиационного и химического риска для населения на территории Ленинградской области представлена на рис. 3.

Опыт проведения сравнительной оценки рисков здоровью населения от ионизирующего излучения и химических загрязнений различных объектов окружающей среды в изученных регионах размещения объектов атомной промышленности свидетельствует о том, что радиационные риски находятся в области приемлемых значений и в 10–1000 раз ниже предела годовой

Таблица 2

Суммарный индивидуальный канцерогенный риск здоровью населения Ленинградской области с учётом многосредового химического воздействия

Город	Канцерогенный риск					
	индивидуальный за жизнь				суммарный	
	атмосферный воздух	пищевые продукты	питьевая вода	почва	за жизнь (70 лет)	за год
Выборг (Выборгский район)	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-6}$	$7,1 \cdot 10^{-6}$	$2,4 \cdot 10^{-8}$	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$2,3 \cdot 10^{-6}$
Тихвин (Тихвинский район)	$2,3 \cdot 10^{-3}$	–	$1,7 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-8}$	$2,4 \cdot 10^{-3}$	$3,4 \cdot 10^{-5}$
Кириши (Киришский район)	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$9,2 \cdot 10^{-5}$	$3,0 \cdot 10^{-5}$	$1,6 \cdot 10^{-8}$	$2,4 \cdot 10^{-4}$	$3,5 \cdot 10^{-6}$
Тосно (Тосненский район)	$6,3 \cdot 10^{-5}$	$8,5 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	$2,3 \cdot 10^{-8}$	$8,2 \cdot 10^{-5}$	$1,2 \cdot 10^{-6}$

дозы облучения ($5 \cdot 10^{-5}$), допустимого как в России*, так и в мире [26]. Вместе с тем в публикации 103 МКРЗ особо отмечается ограниченность области применения моделей оценок радиационного риска при воздействии малых доз облучения на большие группы людей, а именно возможность их использования для регулирования воздействия и неприменимость для оценки медицинских последствий облучения. Последнее связано с отсутствием эпидемиологических данных, подтверждающих линейную беспороговую концепцию риска онкологических и наследуемых заболеваний при дозе облучения ниже 100 мЗв.

Оценка уровней риска здоровью при воздействии химических веществ показала, что для большинства проанализированных российских регионов характерны значения канцерогенного риска, незначительно превышающие приемлемый уровень для населения. Например, в Воронежской области максимальный суммарный канцерогенный риск от воздействия мониторируемых в атмосферном воздухе канцерогенов составляет $2,3 \cdot 10^{-4}$, а в Красноярском крае соответственно $8,8 \cdot 10^{-4}$. При этом необходимо учитывать, что значения канцерогенных рисков зависят от полноты перечня контролируемых соединений.

Расчёты дополнительного числа случаев смерти, обострения сердечно-сосудистых заболеваний, болезней органов дыхания показали, что в Красноярском крае максимально возможный суммарный ущерб здоровью населения составил 154 дополнительных случая смерти на 100 тыс. населения, а в Ленинградской области соответственно 18,4 дополнительных случая смерти.

Результаты выполненных исследований свидетельствуют о значительно большем влиянии на здоровье населения химического фактора риска по сравнению с техногенным радиационным фактором. Наиболее значимым фактором риска здоровью населения исследованных регионов является загрязнение атмосферного воздуха «классическими» и канцерогенными химическими веществами, поступающими в окружающую среду за счёт выбросов промышленных предприятий и автотранспорта. Важно отметить, что загрязнения атмосферного воздуха городов и взвешенные частицы признаны Международным агентством по изучению рака канцерогенными для человека (1-я группа) [27].

Обсуждение

Радиационный фактор воздействия на здоровье населения потенциально может приводить к эффектам, схожим с воздействием химических веществ, обладающих канцерогенными свойствами, а также «классических» загрязнений атмосферного воздуха городов, способных приводить к увеличению числа случаев онкологических заболеваний, обострению сердечно-

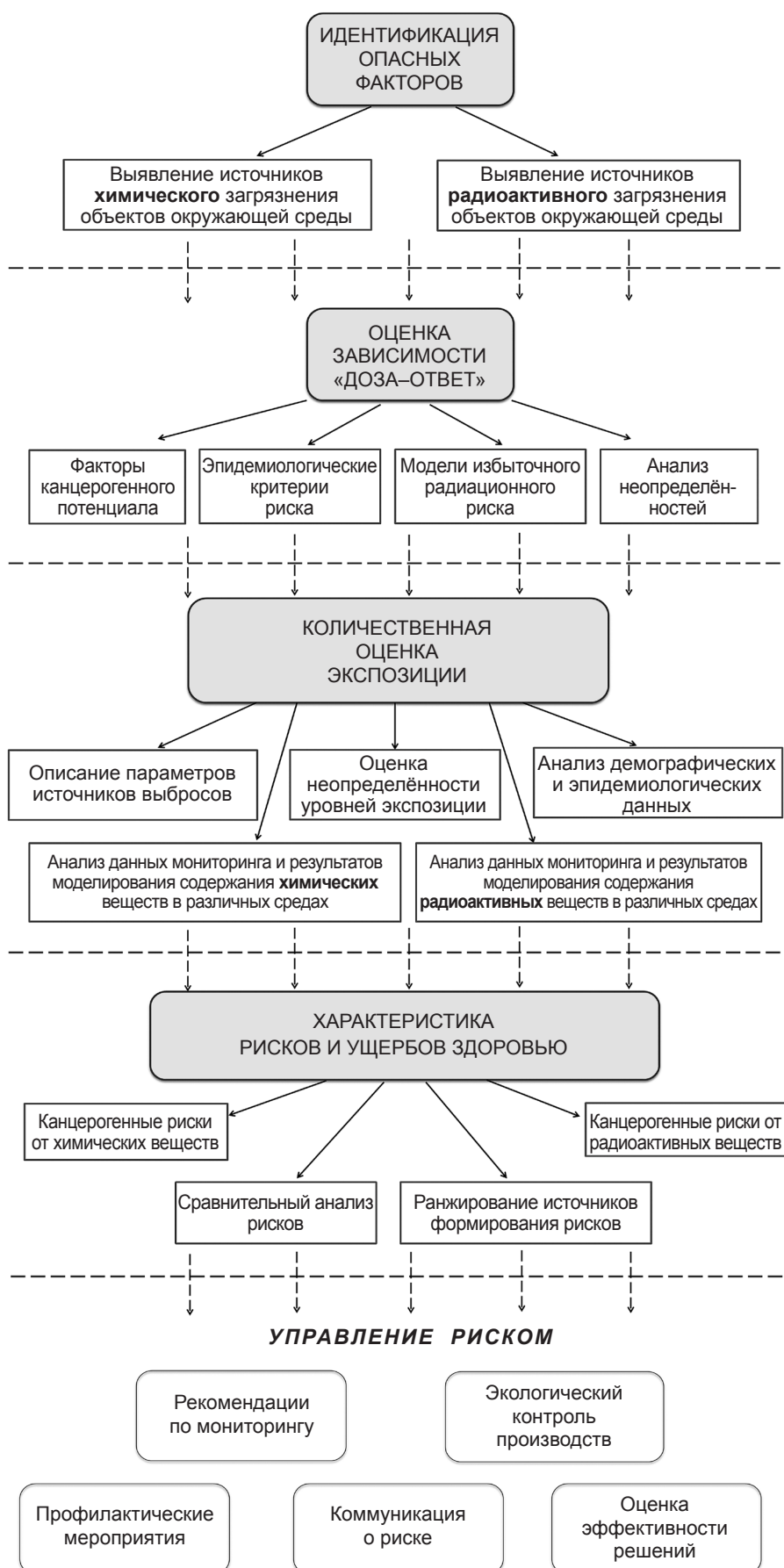


Рис. 4. Принципиальная схема сравнительной оценки радиационных и химических рисков.

* Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523-09. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009; 100.

сосудистых и респираторных заболеваний, а также росту дополнительной смертности населения.

Основными этапами проведения исследований по сравнению результатов радиационного и химического воздействия на здоровье населения являются: идентификация изучаемых факторов и источников их поступления в окружающую среду, анализ их опасности для здоровья при выбранных путях воздействия на организм, установление критериев канцерогенного риска и ущербов здоровью, рекомендованные для практического применения международными организациями (ЕС, 1995, 1998; ВОЗ, 1999, 2000), правительственными учреждениями ряда зарубежных стран (U.S. EPA, 1997, 1999; Великобритания, Канада). Отмеченные этапы реализованы в зарубежных компьютерных системах для оценки ущерба от влияния факторов окружающей среды (система ВОЗ AirQ, AirPack, Feret, ICAP), характеристика уровней риска здоровью, оценка приемлемости рассчитанных уровней риска, ранжирование рисков развития вредных эффектов, в том числе с учётом радиационного и химического воздействия.

Риск развития онкологических заболеваний от техногенного облучения оценивается на основе концепции эффективной дозы и номинальных коэффициентов риска, приведённых в рекомендациях МКРЗ [26]. Основным параметром для оценки канцерогенного риска при воздействии канцерогенного агента с беспороговым механизмом действия является фактор канцерогенного потенциала (фактор наклона), характеризующий степень нарастания канцерогенного риска с увеличением воздействующей дозы на одну единицу. Этот показатель отражает верхнюю, консервативную оценку канцерогенного риска за ожидаемую продолжительность жизни человека (70 лет). Перечень канцерогенных веществ с отобранными в соответствии с международными рекомендациями факторами канцерогенного потенциала для ингаляционного и перорального воздействия, категориями канцерогенности по классификациям U.S. EPA и МАИР содержится в действующем в настоящее время Руководстве по оценке риска Р 2.1.10.1920-04 [28]. Значения эпидемиологических критериев риска, обусловленных воздействием загрязнений атмосферного воздуха городов, представлены в рекомендациях ВОЗ [3, 29, 30] и многочисленных эпидемиологических исследованиях.

Заключение

Таким образом, проведённые исследования показали, что вклад объектов использования атомной энергии в формирование техногенного риска здоровью населения пренебрежимо мал и на порядок ниже факторов химического риска. Атмосферный воздух является основной средой формирования рисков здоровью при многосредовом воздействии химических веществ. Поэтому меры, направленные на улучшение качества атмосферного воздуха, следует расценивать как приоритетные для реализации мероприятий по сохранению здоровья населения. На основе многолетнего опыта совместных исследований разработана принципиальная схема сравнительной оценки радиационных и химических рисков (рис. 4). Примененный подход к комплексному анализу рисков и полученные результаты позволяют определить приоритеты политики в области охраны здоровья и санитарно-эпидемиологического благополучия населения и способствуют выработке стратегии дальнейшего экологически приемлемого социально-экономического развития изученных регионов.

Литература

(пп. 2–4, 6, 7, 12–15, 25–27, 29, 30 см. References)

1. ЕЭК. Руководящие принципы разработки национальных стратегий использования мониторинга качества воздуха и воды как средства экологической политики. ООН; 2012 г. 60 с.
5. Сафонов Г.В. Экономический анализ методов управления окружающей средой. *Энергетик*. 2007; 2: 15–6.
8. Авалиани С.Л., Голуб А.А., Давыдова Н.Г., Струкова Е.Б., Сафонов Г.В. *Управление окружающей средой на основе методологии анализа риска. Учебное пособие*. М.; 2006. 186 с.
9. Захаров В.М., ред. *Экологическая политика и гражданское общество (региональный опыт)*. М.: Акрополь, Центр экологической политики и культуры, Центр здоровья среды; 2008. 364 с.

10. 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*. Рахманин Ю.А., Онищенко Г.Г., ред. М.: НИИ ЭЧ и ГОС; 2002. 408 с.
11. Онищенко Г.Г. Оценка и управление рисками для здоровья как эффективный инструмент решения задач обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения Российской Федерации. *Анализ риска здоровью*. 2013; 1: 4–14.
16. Линге И.И., Воробьева Л.М., Шашина Т.А. Структура экологических факторов риска для здоровья населения Кольского Севера. *Гигиена и санитария*. 2009; 9: 51–3.
17. Арутюнян Р.В., Большов Л.А., Воробьева Л.М., Хандогина Е.К., Новиков С.М., Шашина Т.А. и соавт. Экология и устойчивое развитие региона размещения Нововоронежской АЭС. *Атомная энергия*. 2010; 109 (2): 109–14.
18. Арутюнян Р.В., Воробьева Л.М., Панченко С.В., Бакин Р.И., Новиков С.М., Шашина Т.А. и соавт. Сопоставительный анализ радиационных и химических рисков для здоровья населения Красноярского края. *Радиация и риск*. 2014; 23 (2): 123–34.
19. Новиков С.М., Шашина Т.А., Додина Н.С., Кислицин В.А., Воробьева Л.М., Горяев Д.В. и соавт. Сравнительная оценка канцерогенных рисков здоровью населения при многосредовом воздействии химических веществ. *Гигиена и санитария*. 2015; 94 (2): 88–92.
20. Аракелян А.А., Панченко С.В., Стрижова С.В., Шашина Т.А. Сравнительный анализ радиационных и химических рисков в регионе размещения Ленинградской АЭС. *Тезисы докладов XI международной научно-технической конференции МНТК-2018*. 2018; 134–5.
21. Материалы для государственного доклада «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения Новоуральского городского округа в 2015 году», Министерство здравоохранения и социального развития, Федеральное медико-биологическое агентство, Межрегиональное управление № 31 ФМБА России. Новоуральск; 2015. 75 с.
22. Богатов С.А., Киселев А.А., Шведов А.М. *Методические подходы для оценок радиационной обстановки, ожидаемого облучения и эффективности контрмер при кратковременных выбросах радиоактивных веществ в атмосферу в модели «ПРОЛОГ» (часть 1)*. Препринт ИБРАЭ № ИБРАЭ-2011-02; 2011. 40 с.
23. Богатов С.А., Киселев А.А., Шведов А.М. *Методические подходы для оценок радиационной обстановки, ожидаемого облучения и эффективности контрмер при кратковременных выбросах радиоактивных веществ в атмосферу в модели «ПРОЛОГ» (часть 2)*. Препринт ИБРАЭ № ИБРАЭ-2011-02; 2011. 69 с.
24. Панченко С.В., Аракелян А.А., Ведерникова М.В., Поцяпун Н.П., Каргин О.А., Сикора О.Н. и соавт. Сравнительная оценка радиационных и токсических рисков в Ангарске. *Радиация и риск*. 2017; 26 (2): 83–94.
28. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду (Р 2.1.10.1920-04). М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России; 2004. 143 с.

References

1. ECE. Guidelines for Development of the National Strategies for the Use of Air and Water Quality Monitoring as an Environmental Policy Tool. UN; 2012. 60 p. (in Russian)
2. Hutton G. Global costs and benefits of drinking-water supply and sanitation interventions to reach the MDG target and universal coverage. Geneva: World Health Organization. (http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/2012/globalcosts.pdf, accessed October 27, 2018)
3. WHO. WHO Expert Meeting: Methods and tools for assessing the health risks of air pollution at local, national and international level. 2014. 112 p.
4. Van Liedekerke M., Prokop G., Rabl-Berger S., Kibblewhite M., Louwage G. Progress in the management of contaminated sites in Europe (JRC Reference Reports). Luxembourg: Joint Research Centre, European Commission; 2014. (<https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/reference-reports/progress-management-contaminatedsites-europea>, accessed October 27, 2018)
5. Safonov G.V. Economic analysis of environmental management methods. *Energetik*. 2007; 2: 15–6. (in Russian)
6. Craig L., Krewski D., Samet J., Shortreed J., Van Bree L. Strategies for clean air and health. *J Toxicol Environ Health*. 2007; Part A; 70: 1–4.
7. Health Canada. Health Canada Decision-Making Framework for Identifying, Assessing, and Managing Health Risks; 2010. 80 p.
8. Avaliani S.L., Golub A.A., Davydova N.G., Strukova E.B., Safonov G.V. *Environmental Management Based on the methodology of risk analysis. Textbook [Upravleniye okruzhayushchey sredoy na osnove metodologii analiza riska. Uchebnoye posobiye]*. Moscow; 2006. 186 p. (in Russian)
9. Zakharov V.M., ed. *Environmental Policy and Civil Society (Regional Experience) [Ekologicheskaya politika i grazhdanskoye obshchestvo]*

- (regional'nyy opyt)]. Moscow: Acropolis, Center for environmental policy and culture, Center for environmental health; 2008. 364 p. (in Russian)
10. Onishchenko G.G., Novikov S.M., Rahmanin Ju.A., Avaliani S.L., Bushtueva K.A. *Bases of an risk assessment for population health at exposure of the chemicals polluting environment [Osnovy otsenki riska dlya zdorov'ya naseleniya pri vozdeystvii khimicheskikh veshchestv, zagryaznyayushchikh okruzhayushchuyu sredu]*. Moscow: NII ECH i GOS; 2002. 408 p. (in Russian)
 11. Onishchenko G.G. Health risk assessment and management as an effective tool to solve issues to ensure the health and epidemiological well-being of the Russian Federation population. *Analiz riska zdorov'yu [Health Risk Analysis]*. 2013; (1): 4–14. (in Russian)
 12. Aven T. Risk assessment and risk management: Review of recent advances on their foundation. *Eur J Oper Res*. 2016; 253 (1): 1–13.
 13. WHO Regional Office for Europe, OECD. Economic cost of the health impact of air pollution in Europe: Clean air, health and wealth. Copenhagen; 2015. 66 p.
 14. Anenberg S.C., Belova A., Brandt J., Fann N., Greco S., Guttikunda S. et al. Survey of Ambient Air Pollution Health Risk Assessment Tools. *Risk analysis*. 2016; 36 (9), Special Issue: Air Pollution Health Risks: 1718–36.
 15. WHO. WHO Expert Meeting: Methods and tools for assessing the health risks of air pollution at local, national and international level. 2014. 112 p.
 16. Linge I.I., Vorobyeva L.M., Shashina T.A. The Structure of Environmental Risk Factors for The health of the Population of the Kola North. *Gigiena i sanitariya [Hygiene and Sanitation, Russian journal]*. 2009; 9: 51–3. (in Russian)
 17. Arutyunyan R.V., Bolshov L.A., Vorobyeva L.M., Khandogin E.K., Novikov S.M., Shashina T.A. et al. Ecology and Sustainable Development of the Region of Placement of the Novovoronezh NPP. *Atomnaya energiya [Atomic Energy]*. 2010; 109 (2): 109–14. (in Russian)
 18. Arutyunyan R.V., Vorobyeva L.M., Panchenko S.V., Bakin R.I., Novikov S.M., Shashina T.A. et al. The Comparative Analysis of Radiation and Chemical Health Risks of the Krasnoyarsk Territory Population. *Radiatsiya i risk [Radiation and Risk]*. 2014; 23 (2): 123–34. (in Russian)
 19. Novikov S.M., Shashina T.A., Dodina N.S., Kislitsyn V.A., Vorobyeva L.M., Goryaev D.V. et al. Comparative assessment of carcinogenic risks to public health to multi-media chemicals exposure. *Gigiena i sanitariya [Hygiene and Sanitation, Russian journal]*. 2015; 94 (2): 88–92. (in Russian)
 20. Arakelyan A.A., Panchenko S.V., Strizhova S.V., Shashina T.A. Comparative Analysis of Radiation and Chemical Risks in the Region of the Leningrad NPP Placement. *Abstracts of the Eleventh international scientific and technical conference MNTC-2018*. 2018: 134–5. (in Russian)
 21. Materials for the state report «On the state of sanitary and epidemiological well-being of the population of the Novouralsk urban district in 2015», Ministry of Health and Social Development, Federal Medical and Biological Agency Interregional Management N 31 of the Federal Medical and Biological Agency of Russia. Novouralsk; 2015. 75 p. (in Russian)
 22. Bogatov S.A., Kiselev A.A., Shvedov A.M. *Methodological approaches for the assessment of the radiation situation, the expected exposure and the effectiveness of the countermeasures at short-term release of radioactive substances into the atmosphere in the model «PROLOG» (part 1)*. Preprint N IBRAE-2011-02; 2011. 40 p. (in Russian)
 23. Bogatov S.A., Kiselev A.A., Shvedov A.M. *Methodological approaches for the assessment of the radiation situation, the expected exposure and the effectiveness of the countermeasures at short-term release of radioactive substances into the atmosphere in the model «PROLOG» (part 2)*. Preprint № IBRAE-2011-02; 2011. 69 p. (in Russian)
 24. Panchenko S.V., Arakelyan A.A., Vedernikova M.V., Potsyapun N.P., Kargin O.A., Sikora O.N. et al. Comparative assessment of radiation and chemical risks in the city of Angarsk. *Radiatsiya i risk [Radiation and Risk]*. 2017; 26 (2): 83–94. (in Russian)
 25. User's Guide For The Industrial Source Complex (ISC3) Dispersion Models. Vol. 1. EPA-454/B-95-003a, 1995.
 26. ICRP Publication 103. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ELSEVIER, ICRP. Publication 103. *Annals of the ICRP*; 37 (2–4): 1–332.
 27. IARC Monographs on the Evaluation of carcinogenic risks to human. Geneva; 2016. Vol. 109. 441 p. Outdoor Air Pollution.
 28. Guidelines for Assessment of the Health Risk from Exposure to Environmental Chemicals (P 2.1.10.1920-04). Moscow: Gossanepidnadzor Federal Center of the Health Ministry of Russia; 2004. 143 p. (in Russian)
 29. WHO Regional Office for Europe (2013). Review of evidence on health aspects of air pollution (REVIHAAP). Technical report. Copenhagen (<http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/airquality/publications/2013/review-of-evidence-on-health-aspects-of-air-pollution-revihaap-project-finaltechnical-report>, accessed October 27, 2018).
 30. WHO (2014b) Burden of disease from ambient air pollution for 2012. Geneva; World Health Organization (http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/AAP_BoD_results_March2014.pdf, accessed October 27, 2018).