DOI: 10.21870/0131-3878-2017-26-2-83-96

Сравнительная оценка радиационных и токсических рисков в Ангарске

Панченко С.В.¹, Аракелян А.А.¹, Ведерникова М.В.¹, Поцяпун Н.П.², Каргин О.А.³,
Сикора О.Н.³, Степанова У.Г.³

¹ ИБРАЭ РАН, Москва;

² ФМБА России, Москва;

³ Межрегиональное управление № 51 ФМБА России, Ангарск

Настоящая статья отражает результаты исследований экологической и радиационной обстановки в городе Ангарске, регионе размещения предприятия Госкорпорации «Росатом» – АО «Ангарский электролизный химический комбинат» (АО «АЭХК»). Нами был проведён сбор и анализ данных по мониторингу за состоянием окружающей среды, а также по выбросам и сбросам основных техногенных источников загрязнения. Рассматриваемый период охватывает главным образом 2013-2015 гг. Определены предприятия, формирующие наибольший вклад в загрязнение Ангарска. Помимо промышленных источников в исследовании уделяется внимание выбросам автотранспорта. С учётом метеорологических параметров рассчитаны значения приземных концентраций вредных примесей на территории города. Проведён обзор качества состояния атмосферного воздуха, поверхностных вод и почвенного покрова. На основе апробированной авторами методологии сравнительной оценки рисков были рассчитаны и сопоставлены уровни риска радиационного и химического происхождения. Проведено ранжирование основных факторов техногенной нагрузки на население. В работе продемонстрировано, что основной вклад во вредное воздействие на здоровье человека вносят мелкодисперсные взвешенные частицы. Показано, что доля АО «АЭХК» в формировании радиационного риска не превышает 1%. Выполненные оценки техногенных рисков могут использоваться для определения приоритетов в области охраны здоровья населения и охраны окружающей среды. Также они могут использоваться с целью оптимизации мониторинга за состоянием природных сред в селитебных зонах и их ареалах.

Ключевые слова: радиационный риск, токсический риск, сравнительный анализ, город Ангарск, Ангарский электролизный химический комбинат, ТЭЦ, АО «АНХК», загрязнение окружающей среды, уран, взвешенные частицы, ранжирование факторов воздействия на здоровье населения.

Введение

Анализ современных данных мониторинга вкпе с использованием моделей рассеяния примесей и методов геостатистики позволяет провести оценки техногенных рисков, что, в свою очередь, даёт возможность определения приоритетных направлений в области охраны здоровья населения, а также позволяет оптимизировать федеральные, региональные и ведомственные системы наблюдения за состоянием природных сред.

В 2016 г. Госкорпорацией «Росатом» инициированы работы по оценке долговременных последствий химического и радиоактивного загрязнения компонент окружающей среды в границах зон возможного влияния объектов ядерного наследия на основе комплексной системы экологического мониторинга. Одним из таких объектов стал расположенный в Ангарске АО «Ангарский электролизный химический комбинат» (АО «АЭХК»), продукция которого – обогащённый уран – идёт для производства топливных элементов для АЭС.

Разработанная в ИБРАЭ РАН модель оценки радиационного риска, в основу которой положена адаптированная методика НКДАР ООН для хронического облучения, подтвердила свою

Панченко С.В. – ст. научн. сотр.; Аракелян А.А. – инж.-исслед.; Ведерникова М.В.* – мл. научн. сотр., к.т.н. ИБРАЭ РАН. Поцяпун Н.П. – зам. нач. Упр. госсанэпиднадзора. ФМБА России. Каргин О.А. – нач. отдела; Сикора О.Н. – зам. нач. отдела; Степанова У.Г. – вед. спец.-эксперт. Межрегиональное управление № 51 ФМБА России.

*Контакты: 115191, Москва, Большая Тульская ул., 52. Тел.: +7 (495) 955-23-29; e-mail: vmv@ibrae.ac.ru.

эффективность при выполнении сравнительных оценок рисков для здоровья населения от техногенных и радиационных источников в разных городах и регионах России. Риски от различных токсических веществ рассчитываются на основе международных и отечественных рекомендаций [1-3].

В работе рассмотрены стационарные источники выбросов и сбросов (основные промышленные комплексы), а также выбросы автотранспорта. Проанализированы базовые характеристики качества природной среды и санитарно-эпидемиологической обстановки на уровне муниципального образования в сравнении с региональными и общероссийскими показателями.

Материалы и методы

Основные потенциально опасные техногенные источники загрязнения окружающей среды в Ангарске

По состоянию на 2010 г. в списке городов России с наиболее неблагоприятной экологической обстановкой Ангарск занимал третье место в Сибири и шестое – в России [1]. Сочетание данного фактора, плохих социально-экономических и тяжёлых климатических условий проживания не может не отражаться на состоянии здоровья местного населения. Согласно данным государственных докладов Роспотребнадзора за последние три года Ангарск входит в число лидеров по уровню первичной заболеваемости злокачественными новообразованиями [4].

Ангарск представляет собой урбанистическое образование при индустриально-энергетическом комплексе, в составе которого наиболее значимыми являются заводы АО «Ангарская нефтехимическая компания» (АО «АНХК»), предприятия теплоэнергетики – ИТЭЦ-1, ИТЭЦ-9, ИТЭЦ-10, заводы стройиндустрии, такие как АО «Ангарский цементно-горный комбинат» (АО «АЦГК») и предприятие атомной промышленности – АО «АЭХК». Всего насчитывается более 60 предприятий. Через город проходят несколько крупных автотранспортных магистралей. В статистическом регистре хозяйствующих субъектов по Ангарскому муниципальному образованию учтено более 6,5 тысяч предприятий, организаций, их филиалов и других обособленных подразделений. Наибольшее число хозяйствующих субъектов сосредоточено в торговле, обрабатывающих производствах, операциях с недвижимым имуществом, строительстве, предоставлении прочих услуг [5].

Среди всех промышленных предприятий города можно выделить всего несколько, оказывающих максимальное влияние на окружающую среду за счёт регулярных выбросов загрязняющих веществ в атмосферу (рис. 1).

Рис. 1. Удельный вес валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу предприятий, дающих основной вклад в загрязнение атмосферы Ангарска [6].

Как видно из рис. 1, энергетическая компания, представленная в Ангарске тремя ТЭЦ, расположенными в разных частях города, ответственна за $\approx 70\%$ валового выброса классических загрязняющих веществ в атмосферу. Доля ТЭЦ в загрязнении атмосферы Ангарска взвешенными частицами и двуокисью серы стабильно составляет около 90% от всех стационарных источников. Выбросы окислов азота с ТЭЦ в последние годы вносили от 27 до 40% в суммарный выброс.

Вторым по количеству выбросов в атмосферу среди предприятий города можно назвать самый большой комплекс предприятий – АО «АНХК» (до 10% от общих выбросов в разные годы). Отметим, что на АО «АЭХК» приходится менее 1% от общих выбросов предприятий Ангарска (табл. 1).

Таблица 1

Перечень и объёмы загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу предприятиями Ангарска в 2014 г., и их доля в суммарном выбросе стационарных источников [7, 8]

Источник выбросов	Объём выбросов, т/год				
	всего по рассматриваемым веществам	в том числе			
		зола	SO ₂	окислы азота	CO
Все стационарные источники	172800	21400	90000	54100	7300
Доля ТЭЦ, %	67,4	88,3	91,9	27,4	0,56
Доля АО «АЭХК», %	7,2E-03	6,8E-04	2,4E-05	5,6E-04	3,3E-03

Показатели выбросов в атмосферу Ангарска за последние 2 года основных «классических» загрязняющих веществ представлены в табл. 2 [9]. Для сравнения также приведены оценки выбросов этих веществ предприятиями города в 1980-е годы.

Таблица 2

Выбросы основных загрязняющих веществ в атмосферу стационарными источниками загрязнения, расположенными в Ангарском муниципальном районе в 2014 и 2015 гг., тысяч тонн [9]

Показатели	1980-е годы	2014 г.	2015 г.
Всего	487,6	193,544	202,438
Твёрдые вещества	134,7	21,394	22,576
Газообразные и жидкие вещества		172,149	179,862
В т.ч. диоксид серы	173,3	89,988	98,206
оксид углерода	118,6	7,324	7,647
оксиды азота (в пересчёте на NO ₂)	38,7	54,13	56,159
углеводороды (без ЛОС)	19,3	0,782	1,027
летучие органические соединения – ЛОС)		19,590	16,547
прочие газообразные и жидкие вещества		0,334	0,276

Отметим, что в рассматриваемые в исследовании годы выбросы урана АО «АЭХК» составили в 2013 г. – 21,2 кг; в 2014 г. – 5,8 кг; в 2015 г. – 4,0 кг, при этом других радионуклидов комбинат не выбрасывает. Для сравнения: суммарный ежегодный выброс в атмосферу всеми ТЭЦ Ангарска составлял до 1100 кг урана, что почти на два порядка больше [6].

Помимо предприятий, свой вклад в загрязнение окружающей среды вносит автомобильный транспорт, данные по выбросам приведены в ежегоднике ФГБУ «Иркутское УГМС» за 2012 г. (табл. 3).

Таблица 3

Данные по выбросам характерных для автотранспорта токсичных загрязняющих атмосферный воздух веществ в сравнении с выбросами стационарных источников за 2012 г., Ангарск [10]

Вещество	Выброс, тыс. т		Доля автотранспорта в суммарном выбросе, %
	автомобили	стационарные источники	
CO	10,7	8,4	56,02
NO ₂	1,2	65	1,81
SO ₂	0,06	139	0,04

Транспортные средства, в том числе автомобили, являются одним из наиболее мощных источников поступления в атмосферный воздух оксида углерода, углеводородов (этана, метана, этилена, бензола, ацетилена и др.), бенз(а)пирена, альдегидов (формальдегида, акролеина, уксусного альдегида и др.), а также оксидов азота, сажи и других токсичных веществ. Загрязнение атмосферного воздуха автотранспортом соизмеримо с выбросами других крупных источников – таких, как производство энергии и промышленное производство [11].

Экологическая и радиационная обстановка

В течение нескольких десятилетий в городе складывалась система мониторинга состояния загрязнения природных сред (атмосфера, поверхностные водоёмы, почва, недра и подземные воды) химическими и радиоактивными веществами естественной и техногенной природы. К настоящему времени сформировалась достаточно целостная система, объединяющая федеральные, региональные и ведомственные пункты контроля и лаборатории, отслеживающие уровни техногенного загрязнения. Кроме того, в области здравоохранения проводится регулярный сбор сведений по санитарно-эпидемиологическому благополучию населения. Собираемая информация в том или ином виде доступна общественности.

Силами ФГБУ «Иркутское УГМС» в Ангарске в последнее время ежегодно проводится примерно 15,5 тысяч измерений различных примесей в атмосферном воздухе (около 10% от всех измерений, выполненных в области). В настоящее время в городе функционируют два базовых автоматических поста, и две станции работают в опытном режиме, также действуют объектовые посты, расположенные на промплощадке АО «АЭХК» [12]. Разумеется, данная система позволяет сформировать только общую картину экологической ситуации в городе. Для её детализации работают две специализированные лаборатории АО «АНХК» и АО «АЭХК», которые выполняют регулярные замеры параметров, характеризующих экологическую обстановку в различных частях города.

В период с 2001 по 2010 гг. состояние атмосферного воздуха в Ангарске характеризовалось высоким и очень высоким уровнями загрязнения, в последующее пятилетие ситуация с загрязнением воздушной среды заметно улучшилась, особенно отчётливо это заметно на фоне других городов области (рис. 2).

Веществами, определяющими высокое загрязнение атмосферного воздуха в сравниваемых городах, являются, в основном, бенз(а)пирен, формальдегид, диоксид азота и взвешенные вещества, которые выбрасываются предприятиями теплоэнергетики, угольной и деревообрабатывающей промышленности, большим количеством мелких котельных, жилым сектором с печным отоплением и автотранспортом. При этом выделить влияние отдельного источника загрязнения с учётом ограниченной системы мониторинга крайне сложно.

Рис. 2. Качество атмосферного воздуха в городах Иркутской области [11].

Мониторинг содержания загрязняющих веществ в водоёмах Ангарска осуществляется Филиалом ФГБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Иркутской области» в Ангарском городском округе и ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии № 28 ФМБА России». Единственным источником, обеспечивающим водо- и теплоснабжение населения, является река Ангара. Ежегодный отбор проб воды непосредственно из реки показывает, что около 100% из них не соответствует нормативам по микробиологическим показателям. Кроме того, вода в реках Ангара, Китой и М. Еловка по ряду показателей может считаться загрязнённой в связи с превышением общесанитарных нормативов (например, по содержанию фенолов). В то же время [13] вода в Ангаре в пределах города классифицируется как «условно чистая»; а в реке Китой как «слабозагрязнённая», а общее состояние поверхностных водоёмов можно оценить как удовлетворительное. Более того, благодаря функционирующей в городе системе водоочистки и водоподготовки доля проб воды из распределительной городской сети с превышением микробиологических показателей снижена до 0,5% [4], что позволяет обеспечить население города качественной питьевой водой, контроль которой (в т.ч. на АО «АЭХК») проводят Центр гигиены и эпидемиологии № 28 ФМБА России и Центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора Иркутской области.

При исследовании загрязнения почвенного покрова стоит отметить, что почва – это весьма специфический компонент биосферы, поскольку она не только геохимически аккумулирует компоненты загрязнений, но и выступает как природный буфер, контролирующий перенос химических элементов и соединений в атмосферу, гидросферу и живые организмы. К типичным загрязнителям почвы в пределах Ангарска относятся полициклические ароматические углеводороды, кобальт, ванадий, хром, марганец, медь, никель. Среди них можно выделить тяжёлые металлы, которые, накапливаясь в почве, медленно удаляются при выщелачивании, потреблении растениями, эрозии и дефляции [14].

Результаты экспериментальных исследований биохимической активности и актуальной кислотности (интегральные показатели состояния) почвенного покрова Ангарска и его окружения позволили заключить, что более 95% почвы города обладает очень высокой и высокой биохимической активностью, что, в свою очередь, свидетельствует о некотором экологическом регрессе на фоне метаболического прогресса, спровоцированного техногенным влиянием (речь идёт о потере азота из почвенной системы).

Основными источниками техногенного загрязнения почвы, разумеется, являются основные промышленные предприятия города, а также транспорт и коммунальные сточные воды. Однако, результаты мониторинга, проводимого ФГБУ «Иркутское УГМС», по загрязнению почвенного покрова, позволяют заключить, что современный уровень содержания тяжёлых металлов близок к фоновым значениям. Более детальную информацию дают данные, полученные санитарными лабораториями АО «АЭХК» и АО «АНХК», которые, хотя и отмечают рост техногенного загрязнения, подтверждают приемлемость содержания загрязняющих веществ в почве.

Проведение оценок рисков

В данной работе под термином «риск» понимаются негативные последствия для здоровья и жизни населения, обусловленные воздействием токсических веществ или техногенного облучения, проявляющиеся в виде увеличения вероятности развития в течение жизни онкологических заболеваний и/или сокращения жизни за счёт воздействия токсических веществ выше установленных порогов.

Для расчёта рассеяния широкого спектра аэрозольных и газовых примесей в атмосферном воздухе был использован разработанный в ИБРАЭ РАН программный комплекс «ПРОЛОГ» (Программа Расчётных Оценок по Локальной Гауссовой модели) [15], позволяющий оценивать загрязнение окружающей среды на расстояниях от потенциально опасных объектов примерно до 10-15 км при стационарных горизонтально-однородных метеорологических условиях для локальных выбросов на различных высотах, не превышающих мощности пограничного слоя.

На первом этапе были проведены расчёты полей приземных концентраций каждой примеси от одного источника, с учётом реальных ежесуточных метеорологических параметров (скорости и направления ветра, типа осадков (нет осадков, дождь, снег)), стратификации атмосферы (категории погоды по Пасквиллу). Для формирования полей концентрации была выбрана сетка размером 75×75 м и с числом ячеек 200×200, таким образом, чтобы вся жилая территория Ангарска попадала в неё. Вычисления приземной концентрации загрязняющего вещества в каждой точке сетки производили за 12 ч каждого дня (день, ночь), а затем усреднялись за год.

На втором этапе в каждой точке происходило сложение среднегодовых приземных концентраций от каждого индивидуального источника, формируя, таким образом, для каждой примеси поле приземной концентрации, образованное за счёт воздействия всех рассматриваемых источников. Апробацию расчётных данных проводили путём сравнения полученных величин в точках мониторинга с измеренными различными службами приземными концентрациями рассматриваемого вещества. Задача эта нетривиальна по целому ряду причин. В первую очередь, из-за множества факторов, влияющих на оценки мгновенных и усреднённых величин. В качестве иллюстрации такого сравнения в табл. 4 представлены результаты моделирования среднегодовой (в рассматриваемый период) концентрации SO_2 в приземном воздухе города.

При сравнительном анализе рисков учёт перемещения людей, а также особенности их социального поведения играют второстепенную роль, поскольку в большинстве случаев вносимые в расчёт поправки будут одного знака. Половозрастные характеристики для данной работы также не носят принципиального характера. В качестве «референтного человека» был выбран взрослый мужчина со стандартными физиологическими параметрами.

Таблица 4

Сопоставление данных мониторинга и результатов моделирования по концентрациям SO₂ в приземном воздухе в селитебной зоне Ангарска, мкг/м³

Вещество	Параметр	УГМС (центр города)			Лаборатория АО «АНХК»*			Расчёт по модели (центр)
		2013 г.	2014 г.	2015 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	
Диоксид серы	Средняя за год Максимум	116	17	30	2-4 14-322	2-3 37-59	0-12 20-500	40-50

*) в разных частях города.

На основании оценки годового поступления в организм «референтного человека» вредных примесей производился расчёт риска сокращения жизни в зависимости от количества и свойств загрязняющего вещества. Для канцерогенных веществ, которые физиологически не являются необходимыми для нормального функционирования организма (отсутствует или не установлена их физиологическая норма), таких, например, как бенз(а)пирен, формальдегид, бензол или уран, использовалась беспороговая концепция, и расчёт величин риска вёлся согласно модели.

Для значительного числа выбрасываемых в атмосферу веществ расчётные концентрации в воздухе существенно ниже пороговых значений минимально обнаруживаемого эффекта. При этом в настоящее время отсутствуют сведения о возможном количественном переходе от эпизодически проявляемых биологических эффектов (например, раздражение глаз или слизистых оболочек, расстройство пищеварения и т.п.) к рискам потери жизни, хотя исключить такую связь, естественно, тоже никто не берётся.

Результаты и обсуждение

На основании полученных данных по рассеиванию радиоактивных и химических веществ в атмосфере Ангарска, источниками которых являются выбросы крупнейших предприятий города и выхлопы автотранспорта, проведён сравнительный анализ рисков, обусловленных воздействием различных негативных факторов.

Радиационные риски

Причинами возникновения техногенной радиации в черте города являются выбросы урана с АО «АЭХК» и трёх ТЭЦ. Оценённый на основании моделей НКДАР ООН [16, 17] максимальный уровень пожизненного радиационного риска для жителей Ангарска приблизительно равен $1,5 \cdot 10^{-7}$ (оценка получена с учётом хронического облучения населения в течение года, при воздействии негативного фактора на протяжении ряда лет риск накапливается), что на несколько порядков ниже социально приемлемого значения, установленного для предприятий атомной и химической отраслей. Уровень канцерогенного риска, обусловленного деятельностью только предприятия Госкорпорации «Росатом», почти на два порядка ниже приведённой величины (рис. 3).

Рис. 3. Оценки уровней радиационных рисков, обусловленных выбросами урана с а) АО «АЭХК», б) с различных предприятий Ангарска.

Вместе с тем, стоит отметить, что представленные значения радиационного риска носят теоретический характер. При их расчёте использовались данные по техногенному облучению населения, которые по оценкам самого предприятия составляют величину менее 0,005 мЗв. Однако на практике выявить подобную дозу облучения жителей не представляется возможным, ввиду того, что она будет полностью поглощаться колебаниями естественного радиационного фона, среднегодовое значение которого может превышать 2 мЗв/год. В связи с этим, на наш взгляд, рассматривать техногенную радиацию как фактор повышенного риска для населения Ангарска можно весьма условно, а расчётную величину $1,5 \cdot 10^{-7}$ следует считать пренебрежимо малой.

Химические риски

С использованием эпидемиологических критериев риска были рассчитаны величины ущерба здоровью населения от хронического воздействия химических веществ, наблюдаемых в атмосферном воздухе Ангарска: азота диоксида, серы диоксида, углерода оксида, некоторых углеводородов, тяжёлых металлов и взвешенных частиц (в пересчёте на PM_{10}).

Ведущим экологическим фактором, влияющим на здоровье населения Ангарска, можно назвать воздействие взвешенных частиц. Контроль за их содержанием в воздухе городской среды в настоящее время налажен слабо: только в одной точке производятся замеры крупнодисперсной фракции размером до 10 мкм (центр города). Многолетние данные показывают устойчивое превышение референтных уровней по концентрации PM_{10} , что может объясняться следующими факторами: высокой фоновой концентрацией, выбросами автомобильного транспорта и выбросами предприятий города, а также, возможно, трансграничным переносом. Среди предприятий следует выделить три ТЭЦ, АО «АЦГК» (вклад в риски населения до 10%). Не меньший вклад можно ожидать и от сравнительно небольших предприятий, однако, здесь необходимо проводить более детальный анализ ситуации. Проведённое моделирование воздушных потоков от выбросов взвешенных частиц крупных предприятий показало, что ни в одной точке

города, кроме локальных территорий промышленных предприятий, не превышен референтный уровень концентрации PM_{10} , который составляет 20 мкг/м^3 . К сожалению, регулярные измерения мелкой фракции взвешенных частиц, представляющей наибольшие угрозы для здоровья населения, пока только планируются. Проведённые оценки вклада выбросов предприятий в концентрацию $PM_{2,5}$ показывают, что референтный уровень в 10 мкг/м^3 в жилой зоне не превышает. Тем не менее, консервативная оценка рисков от выбросов взвешенных частиц (PM_{10} и $PM_{2,5}$) для части населения будет составлять примерно $2 \cdot 10^{-4}$ (рис. 4).

Рис. 4. Распределение рисков, обусловленных выбросами в атмосферу взвешенных частиц предприятиями Ангарска.

Следует учесть, что, с одной стороны, в целях сравнения использовались консервативные расчёты рисков, с другой – далеко не все потенциальные источники выбросов взвешенных частиц были охвачены анализом. Более реалистичные и в то же время более высокие риски были определены для центральной части города по данным мониторинга концентрации PM_{10} и с помощью методических приёмов, позволяющих учитывать весь спектр частиц (табл. 5).

Таблица 5

Ранжирование факторов негативного воздействия на здоровье населения Ангарска по величине риска

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.

В структуре рисков, формируемых различными радиоактивными и химическими веществами, присутствующими в атмосфере Ангарска, можно выстроить следующий рейтинговый ряд (табл. 5, рис. 5).

Значимым фактором экологического воздействия являются выбросы нефтепродуктов и таких их производных как бензол, диметилбензол, метилбензол, этилбензол и т.п. Вклад нефтепродуктов в техногенные риски может достигать 10%, а в некоторых районах города и выше.

На уровне единиц процентов вклад в техногенные риски дают выбросы диоксида серы. Определённое значение имеют и выбросы формальдегида (возможный источник – автомобильный транспорт), вклад которых в техногенные риски оценивается величиной около 1%. Следует добавить, что формальдегид ещё в больших концентрациях, чем на улице, может встречаться в жилых и промышленных помещениях. Однако на данный момент количественно оценить этот источник воздействия на здоровье населения не представляется возможным.

Рис. 5. Сравнение рисков воздействия техногенных факторов различной природы на здоровье жителей Ангарска.

Оценённый в работе канцерогенный риск от химических веществ равен $2,8 \cdot 10^{-4}$. Приведённая величина рассчитана для рисков онкологической заболеваемости. Для получения рисков смертности необходимо скорректировать полученный результат с учётом коэффициента летальности, который на территории России в рассматриваемые годы для раковых заболеваний близок к 50% [18]. В результате, скорректированный канцерогенный риск для населения будет сопоставим с абсолютным превышением онкологической смертности в городе по сравнению со среднерегиональным значением, составляющим величину $1,3 \cdot 10^{-4}$. Таким образом, можно обоснованно предполагать, что такое значение онкологической смертности в Ангарске может быть обусловлено, в частности, и воздействием на здоровье населения сложившейся в городе экологической обстановкой.

Заключение

Основными источниками техногенного загрязнения селитебной зоны Ангарска являются: автотранспорт, текущие выбросы наиболее крупных предприятий города: ТЭЦ, АО «АНХК», АО «АЦГК», а также сформированное загрязнение почвенного покрова за счёт предшествующей деятельности этих предприятий.

Основную экологическую нагрузку на здоровье населения в настоящее время создают выбросы токсических веществ предприятиями города и автотранспорт. По ряду токсических веществ наблюдаются превышения действующих гигиенических нормативов. В первую очередь это относится к атмосферному воздуху. Отмечается повышенное выпадение отдельных токсичных веществ на снежный покров. Качество питьевой воды удовлетворяет гигиеническим нормативам. По загрязнению продуктов питания вредными веществами в рассматриваемый период не отмечено случаев отклонений от нормы.

Ведущим экологическим фактором, влияющим на здоровье населения Ангарска, являются мелкодисперсные взвешенные частицы в приземном слое атмосферы, на долю которых приходится $\approx 85\%$ от общего техногенного риска.

Значимую роль в формировании техногенных рисков играют нефтепродукты. Их вклад в общий техногенный риск оценивается величиной, близкой к 10%.

Радиационная обстановка по всем параметрам, характеризующим дополнительное техногенное воздействие на население Ангарска, нормальная. Не обнаружено отклонений от типичных фоновых значений ни по одному из рассмотренных параметров. Примерное соотношение техногенных токсических и радиационных рисков для населения Ангарска 23-тысячи к 1. Доля АО «АЭХК» в формировании радиационных рисков для населения Ангарска оценивается величиной в 1% от суммарного техногенного радиационного риска, который сам по себе несравненно ниже естественного радиационного риска.

Представленные в настоящей статье оценки техногенных рисков могут использоваться только для определения приоритетов в области охраны здоровья населения и охраны окружающей среды. Также они могут быть полезны при решении вопросов оптимизации федеральных, региональных и ведомственных систем мониторинга за состоянием природных сред в жилых зонах и их ареалах и при формировании программ научных исследований, направленных на улучшение экологической обстановки в городе и регионе.

Литература

1. **Арутюнян Р.В., Большов Л.А., Воробьёва Л.М., Хандогина Е.К., Новиков С.М., Шашина Т.А., Скворцова Н.С., Чубирко М.И., Пичужкина Н.М.** Экология и устойчивое развитие региона размещения Нововоронежской АЭС //Атомная энергия. 2010. Т. 109, № 2. С. 109-113.
2. **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.
3. **Арутюнян Р.В., Воробьёва Л.М., Панченко С.В., Печкурова К.А., Новиков С.М., Шашина Т.А., Додина Т.С., Горяев Д.В., Тихонова И.В., Куркатов С.В., Скударнов С.Е., Иванова О.Ю.** Оценка экологической безопасности Красноярского края на основе анализа риска здоровья населения //Атомная энергия. 2015. Т. 118, № 2. С. 113-117.
4. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Иркутской области в 2015 году: Государственный доклад. Иркутск, 2016. 287 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://38.rospotrebnadzor.ru/396/> (дата обращения 19.03.2017).
5. **Лещенко Я.А.** Проблемы развития населения сибирского города. Иркутск: НЦРВХ СО РАМН, 2010. 130 с.
6. АЭХК. Отчёт по экологической безопасности за 2007 год. 2008. 24 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.aecc.ru/attachments/article/69/1.ereport2007.pdf> (дата обращения 19.03.2017).
7. О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2014 году. Государственный доклад. Ежегодник. МПР Иркутской области. Иркутск: ООО Форвард, 2015. 328 с. [Электронный ресурс]. URL: http://irkobl.ru/sites/ecology/GosDoklad_Final.pdf (дата обращения 19.03.2017).
8. О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2015 году. Государственный доклад. Иркутск: ООО «Издательство «Время странствий», 2016. 316 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.mnr.gov.ru/regulatory/detail.php?ID=286341> (дата обращения 19.03.2017).
9. БД ПМО Иркутской области «Показатели, характеризующие состояние экономики и социальной сферы муниципального образования Ангарский муниципальный район за 2013, 2014, 2015 годы». [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gks.ru/dbscripts/munst/munst.htm> (дата обращения 24.12.2016).
10. Состояние загрязнения атмосферного воздуха городов на территории деятельности ФГБУ «Иркутское УГМС» в 2013 г. Ежегодник. Иркутск, 2014. 105 с.
11. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2014 году. Государственный доклад. М., 2015. 473 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ecogodsoklad.ru> (дата обращения 19.03.2017).
12. Отчёт по экологической безопасности ОАО «АЭХК» за 2014 год. Ангарск, 2015. 23 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://media.rspp.ru/document/1/1/b/1b308e19c106f6a075e532cb2d7e5803.pdf> (дата обращения 19.03.2017).
13. Метод комплексной оценки степени загрязнённости поверхностных вод по гидрохимическим показателям. РД 52.24.643-2002. Ростов-на-Дону, 2002.
14. **Коробицина Ю.С., Попова Л.Ф., Васильева А.И., Усачёва Т.В.** Экологическая оценка загрязнения тяжёлыми металлами почвенного покрова г. Северодвинска //Научный диалог. Естествознание. Экология. Науки о земле. 2013. № 3(15). С. 75-93.
15. **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» (части 1 и 2). Препринт ИБРАЭ NoIBRAE-2011-02, 2011. 40+69 с.
16. **Ильясов Д.Ф.** Подходы и модели оценки последствий воздействия ионизирующего излучения на организм человека в малых дозах //Экономика природопользования. М.: ВИНТИ РАН, 2014. Вып. № 2. С. 94-103.

17. **Ильясов Д.Ф.** Модифицированные подходы оценки индивидуальных радиационных рисков в малых дозах облучения // Экономика природопользования. М.: ВИНТИ РАН, 2014. Вып. № 3. С. 62-72.
18. Злокачественные новообразования в России в 2014 году (заболеваемость и смертность) /Под ред. А.Д. Каприна, В.В. Старинского, Г.В. Петровой. М: ФГБУ «МНИОИ им. П.А. Герцена» Минздрава России, 2016. 250 с.

Comparative assessment of radiation and chemical risks in the city of Angarsk

**Panchenko S.V.¹, Arakelyan A.A.¹, Vedernikova M.V.¹, Potsyapun N.P.², Kargin O.A.³,
Sikora O.N.³, Stepanova U.G.³**

¹ The Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences (IBRAE RAS), Moscow;

² FMBA of Russia, Moscow;

³ Interregional Department N 51 of FMBA of Russia, Angarsk

This article presents a research on the environmental and radiation situation in the city of Angarsk, where the Angarsk Electrolysis Chemical Combine (AECC) of the State Corporation ROSATOM is located. The paper summarizes environmental monitoring data as well as the data on emissions and discharges of main technogenic contaminants mainly covering the years 2013-2015. The enterprises generating the majority of contaminants polluting the city of Angarsk were identified. Besides technogenic emissions, vehicle emissions were also evaluated in this research. Surface concentrations of harmful contaminants in the city of Angarsk were calculated based on relevant meteorological parameters. The article also provides a survey of ambient air, surface water and soil quality. A specific methodology of comparative risk assessment approved by the authors was used to calculate and compare relevant radiation and chemical risks. Major factors having technogenic impact on the population were ranked. The paper demonstrates that fine particulates are mainly responsible for negative effects produced on human health. It was shown that AECC contributes to less than 1% of radiation risks. The technogenic risk estimates may be used to set priorities in the decision-making on public health and environmental protection policies. They can be also used to enhance state environmental monitoring programs in residential areas and their localities.

Key words: radiation risk, toxic risk, comparative analysis, Angarsk, Angarsk Electrolysis Chemical Complex, Thermal Power Plant, Angarsk Petro-Chemical Company, environmental pollution, uranium, fine particulates, ranking of factors affecting on the public health.

References

1. **Arutyunyan R.V., Bolshov L.A., Vorobiova L.M., Khandogina E.K., Novikov S.M., Shashina T.A., Skvortsova N.S., Chubirko M.I., Pichuzhkina N.M.** Ecology and stable development of the region containing the Novovoronezh nuclear power plant. *Atomnaya energiya – Atomic Energy*, 2010, vol. 109, no. 2, pp. 137-142. (In Russian).
2. **Arutyunyan R.V., Vorobiova L.M., Panchenko S.V., Bakin R.V., Novikov S.M., Shashina T.A., Dodina N.S., Goryaev L.V., Tihonova I.V., Kurkatov S.B., Skudarnov S.E., Ivanova O.Y.** Comparative analysis of radiation and chemical risks to public health in Krasnoyarskiy Krai. *Radiatsiya i risk – Radiation and Risk*, 2014, vol. 23, no. 2. pp. 123-136. (In Russian).
3. **Arutyunyan R.V., Vorobiova L.M., Panchenko S.V., Pechkurova K.A., Novikov S.M., Shashina T.A., Dodina N.S., Goryaev D.V., Tikhonova I.V., Kurkatov S.V., Skudarnov S.E., Ivanova O.Y.** Environmental safety assessment of Krasnoyarsk Krai based on a public health risk analysis. *Atomnaya energiya – Atomic Energy*, 2015, vol. 118, no. 2, pp. 149-154. (In Russian).

Panchenko S.V. – Sen. Res.; **Arakelyan A.A.** – Eng.-res.; **Vedernikova M.V.*** – Researcher, C. Sc., Tech. IBRAE RAS. **Potsyapun N.P.** – Head of Dep., Administration of the State Sanitary and Epidemiological Inspectorate, FMBA of Russia. **Kargin O.A.** – Head of Dep.; **Sikora O.N.** – Deputy Head of Dep.; **Stepanova U.G.** – Lead. Expert. Interregional department N 51 of FMBA of Russia.

*Contacts: 52 Bolshaya Tulskaia st., Moscow, 115191, Russia. Tel: +7 (495) 955-23-29; e-mail: vmv@ibrae.ac.ru.

4. State report «About the state sanitary and epidemiological well-being of the population in the Irkutsk region in 2015», Rospotrebnadzor regional office in Irkutsk region, Irkutsk, 2016. 287 p. Available at: <http://38.rospotrebnadzor.ru/396/> (Accessed 19 March 2017). (In Russian).
5. **Leshchenko Ya.A.** Problems of development of the population of a Siberian town. Irkutsk, ESSCHE of Siberian branch of RAMS, 2010. 130 p. (In Russian).
6. AECC. Annual Environmental Safety Report for 2007. 2008, 24 p. Available at: <http://www.aecc.ru/attachments/article/69/1.ereport2007.pdf> (Accessed 19 March 2017). (In Russian).
7. State report «About the state of environment and environmental protection of the Irkutsk region in 2014». Annual report. Ministry of Natural Resources and the Environment of the Irkutsk region, 2015. 328 p. Available at: http://irkobl.ru/sites/ecology/GosDoklad_Final.pdf (Accessed 19 March 2017). (In Russian).
8. State report «About the state of environment and environmental protection of the Irkutsk region in 2015». Annual report. Ministry of Natural Resources and the Environment of the Irkutsk region, 2016. 328 p. Available at: <http://www.mnr.gov.ru/regulatory/detail.php?ID=286341> (Accessed 19 March 2017). (In Russian).
9. Database of indicators of municipalities of Irkutsk region «Indicators of the state of the economy and social sphere of the municipality Angarsk Municipal District for 2013, 2014, 2015. Available at: <http://www.gks.ru/dbscripts/munst/munst.htm> (Accessed 19 March 2017). (In Russian).
10. Annual report «State of urban air pollution in activities FSBI "Irkutsk AHM" for 2013», Irkutsk, 2014. 105 p. (In Russian).
11. State report «About the state of environment and environmental protection of Russian Federation in 2014». Moscow, 2015. 473 p. Available at: <http://www.ecogisdoklad.ru> (Accessed 19 March 2017). (In Russian).
12. AECC. Annual Environmental safety report for 2014. Angarsk, 2015. 23 p. Available at: <http://media.rssp.ru/document/1/1/b/1b308e19c106f6a075e532cb2d7e5803.pdf> (Accessed 19 March 2017). (In Russian).
13. GP 52.24.643-2002. The method of integrated assessment of the degree of contamination of surface water on hydrochemical indicators. Rostov-on-Don, 2002. (In Russian).
14. **Korobitsina Y.S., Popova L.F., Vasilyeva A.I., Usacheva T.V.** Ecological Evaluation of Heavy Metal Soil Pollution in Severodvinsk. *Nauchnyj dialog. Estestvoznaniye. Jekologija. Nauki o zemle – Scientific Dialogue. Natural science. Ecology. Earth Science*, 2013, no. 3 (15). pp. 75-93. (In Russian).
15. **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 and 2). Preprint NoIBRAE-2011-02, 2011. 40+69 p. (In Russian).
16. **Ilyasov D.F.** Approaches and models of estimating the impact of ionizing radiation on the human body in low dose levels. *Jekonomika prirodopol'zovanija – Natural Resource Management*. Moscow, VINITI, 2014, Issue 2, pp. 94-103. (In Russian).
17. **Ilyasov D.F.** Modified approaches of estimating individual radiation risks in low dose levels. *Jekonomika prirodopol'zovanija – Natural Resource Management*. Moscow, VINITI, 2014, Issue 3. pp. 62-72. (In Russian).
18. Malignant neoplasms in Russia in 2014 (morbidity and mortality). Eds.: A.D. Kaprin, V.V. Starinskiy, G.V. Petrova. Moscow, P. Hertsen MORI, 2016. 250 p. (In Russian).