

ОЦЕНКА РИСКА ЗДОРОВЬЮ НАСЕЛЕНИЯ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ В СОСТАВЕ АТМОСФЕРНЫХ ВЫБРОСОВ МНОГОТОПЛИВНЫХ ТЕПЛОЭЛЕКТРОЦЕНТРАЛЕЙ

© 2019 г. С. Б. Петров, Б. А. Петров

ФГБОУ ВО «Кировский государственный медицинский университет», г. Киров

Исследование выполнено на территории Кировской области в зоне влияния атмосферных выбросов трех многотопливных теплоэлектростанций (ТЭС), основными видами топлива которых являются каменный уголь, торф и природный газ.

Цель исследования – оценка риска здоровью населения при воздействии твердых частиц в составе атмосферных выбросов ТЭС. **Методы.** Исследование включало ранжирование химических веществ, входящих в состав атмосферных выбросов ТЭС по уровню канцерогенной и неканцерогенной опасности, моделирование рассеяния выбросов ТЭС с расчетом приземных концентраций и оценкой канцерогенного и неканцерогенного рисков здоровью населения. С помощью кластерного анализа были выделены три типичных сценария топливного баланса городских многотопливных ТЭС за 17 лет наблюдения: первый – с долей твердого топлива более 50 %, второй – с долей твердого топлива менее 20 % и третий, характеризующийся увеличением доли твердого топлива в топливном балансе до 30 %. **Результаты.** Выделены три района, статистически значимо отличающиеся по уровню приземных концентраций твердых частиц в составе выбросов ТЭС. В период реализации первого сценария для населения района с самым высоким уровнем загрязнения канцерогенный риск (СІ 95 %) составил $3,8 \times 10^{-4}$ – $4,8 \times 10^{-4}$, неканцерогенный риск – 2,37–2,96, наблюдается рост относительного риска обращений за медицинской помощью и случаев смерти по причине болезней системы кровообращения и органов дыхания. При переходе ко второму сценарию наблюдается снижение уровней канцерогенного риска до $1,4 \times 10^{-4}$ – $1,7 \times 10^{-4}$ и неканцерогенного риска до 0,85–1,05, снижение уровня относительного риска обращений за медицинской помощью и смертности по причине болезней системы кровообращения и органов дыхания. **Выводы:** изменения топливного баланса многотопливных ТЭС оказывают значимое влияние на уровень риска здоровью. Необходимо дифференцировать жилые районы, находящиеся в зоне влияния атмосферных выбросов многотопливных ТЭС, выделяя районы повышенного риска.

Ключевые слова: канцерогенный риск, неканцерогенный риск, здоровье населения, заболеваемость, смертность, взвешенные вещества, многотопливная теплоэлектростанция

ASSESSMENT OF HEALTH RISK OF PARTICULATE MATTER COMPONENTS OF ATMOSPHERIC EMISSIONS OF MULTIFUEL POWER PLANTS

S. B. Petrov, B. A. Petrov

Kirov State Medical University, Kirov, Russia

Aim: To study risks to public health of particulate matter components in the atmospheric emissions of multifuel power plants (MPP). **Methods:** The study was performed on the territory of the Kirov region in the area of atmospheric emissions of the multifuel power plants. We ranked the chemicals included in the composition of atmospheric emissions from MPP by the level of carcinogenic and non-carcinogenic risk and modeled dispersion of emissions of MPP plants and estimation of carcinogenic and non-carcinogenic health risks. **Results:** Three typical scenarios of the fuel balance of MPP for 17 years of observation were identified: I - the share of solid fuel more than 50 %, II - the share of solid fuel less than 20 % and III, characterized by an increase in the share of solid fuel in the fuel balance to 30 %. During the implementation of scenario I, the carcinogenic risk (CI 95 %) was 3.8×10^{-4} - 4.8×10^{-4} for the population of the area with the highest pollution level, non-carcinogenic risk was 2.37-2.96, there was an increase in the frequency of hospital admissions and mortality due to diseases of the circulatory system and respiratory organs. In the transition to scenario II, there was a decrease in the level of carcinogenic risk to 1.4×10^{-4} - 1.7×10^{-4} and non-carcinogenic risk to 0.85-1.05, a decrease in the frequency of hospital admissions and mortality due to diseases of the circulatory system and respiratory organs. **Conclusions:** Changes in the fuel balance of multi-fuel CHP are associated with a significant influence on the level of health risk. Highlighting areas of increased risk for population health in the areas adjacent to MPP is recommended.

Key words: carcinogenic risk, non-carcinogenic risk, public health, morbidity, mortality, suspended solids, multi-fuel thermal power plant

Библиографическая ссылка:

Петров С. Б., Петров Б. А. Оценка риска здоровью населения при воздействии твердых частиц в составе атмосферных выбросов многотопливных теплоэлектростанций // Экология человека. 2019. № 6. С. 4–10.

Petrov S. B., Petrov B. A. Assessment of Health Risk of Particulate Matter Components of Atmospheric Emissions of Multifuel Power Plants. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2019, 6, pp. 4-10.

В топливно-энергетическом балансе отечественной теплоэнергетики превалирует доля природного газа. Согласно Энергетической стратегии России на периоды до 2020 и до 2030 года одним из приоритетных направлений является устранение газового перекоса в топливном балансе теплоэнергетической

системы страны и увеличение в нем доли твердого топлива. При этом существенно возрастает роль многотопливных теплоэнергетических комплексов, оборудование которых позволяет одновременно использовать твердое и газообразное топливо в различных соотношениях [5]. Вместе с тем быстрое

увеличение доли твердого топлива в энергобалансе России при условии его сжигания на существующем оборудовании, в отсутствие модернизации, может представлять серьезную опасность для здоровья населения. Часто отечественные энергоблоки имеют недостаточно высокий уровень технологии улавливания, транспортировки, хранения и использования золы и шлака и относительно большие выбросы загрязняющих веществ в атмосферу [3, 4]. Решение данных проблем намечено осуществить путем внедрения перспективных, экологически чистых твердотопливных технологий [7, 8]. В связи с этим актуальное значение приобретают эколого-гигиенические исследования в районах размещения действующих многотопливных теплоэлектроцентралей (ТЭЦ), на которых в рамках реализации стратегических задач проводятся мероприятия по модернизации производства тепловой и электрической энергии.

Цель исследования — оценка риска здоровью населения при воздействии твердых частиц в составе атмосферных выбросов многотопливных ТЭЦ.

Методы

Исследование выполнено на территории Кировской области, основными источниками электроснабжения и теплоснабжения городских и районных потребителей которой являются теплоэлектроцентрали ТЭЦ-3, ТЭЦ-4 и ТЭЦ-5. Основные виды топлива для ТЭЦ-4 и ТЭЦ-3 — каменный уголь, торф и природный газ, резервный — мазут. Для ТЭЦ-5 в качестве основных видов топлива применяются каменный уголь и природный газ, резервного — мазут. Общая мощность многотопливных ТЭЦ: электрическая 930 МВт/час, тепловая 3 281 Гкал/час. В зоне влияния атмосферных выбросов многотопливных ТЭЦ находятся жилые районы городов Киров и Кирово-Чепецк, а также небольшие населенные пункты, относящиеся к областному центру либо к Кировской области, общей численностью населения до 560 000 человек. Радиус зоны влияния атмосферных выбросов составляет 40–50 км. Котлоагрегаты многотопливных ТЭЦ оборудованы мокрыми золоуловителями с коагулятором Вентури типа МС-ВТИ эффективностью 94–95 %. Первичные данные о валовых выбросах в атмосферный воздух получены из ежегодных материалов официальной государственной статистической отчетности по форме 2ТП-Воздух в период с 1998 по 2015 год.

С учетом того, что топливный баланс в течение этого времени неоднократно менялся, для выявления общих тенденций и выделения отдельных периодов был использован кластерный анализ. При помощи кластерного анализа атмосферных выбросов ТЭЦ за временной промежуток с 1997 по 2015 год было выделено три кластера: период I (1997–2000), период II (2001–2008) и период III (2009–2015). Все выделенные кластеры имеют статистически значимые различия по соотношению разных видов топлива в топливном балансе, по объему и составу выбросов

в атмосферу, что позволило представить данные кластеры как сценарии работы ТЭЦ в определенные временные периоды. Показатели электрической и тепловой мощности в данные периоды не имели статистически значимых различий. Поскольку в исследовании использовались данные за длительный период осреднения, сезонные изменения массы и состава атмосферных выбросов не учитывались.

Моделирование загрязнения атмосферы выбросами многотопливной ТЭЦ выполнено в соответствии с Приказом Минприроды России № 273 «Об утверждении методов расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе» с помощью программы собственной разработки «Экорасчет» (свидетельство о гос. регистрации № 2017612644). Расчет приземных концентраций компонентов атмосферных выбросов ТЭЦ, показателей канцерогенного и неканцерогенного риска на первом этапе выполнен для 440 рецепторных точек, расположенных на площади зоны влияния атмосферных выбросов многотопливных ТЭЦ, на втором этапе — с шагом 100 м для рецепторных точек районов, выделенных в селитебных зонах. Рекомендуемые значения референтных концентраций для хронического ингаляционного воздействия (RiC), факторов канцерогенного потенциала (SF_i), уровней единичного канцерогенного риска (UR_i) получены из Руководства по оценке риска здоровью при воздействии химических веществ (Р 2.1.10.1920-04), международных баз токсикологических данных IRIS и PPRTV. Были определены фракционные концентрации взвешенных веществ — РМ₁₀ и РМ_{2,5} с использованием рекомендованных пересчетных коэффициентов 0,55 и 0,26 [15].

С помощью кластерного анализа в зоне влияния атмосферных выбросов для каждого сценария топливного баланса было выделено три района (кластера), статистически значимо отличающихся по расчетному уровню загрязнения атмосферного воздуха выбросами ТЭЦ и удалению от предприятия теплоэнергетики. Кластер 1 включал селитебные зоны, расположенные в северо-западной, западной и юго-западной частях г. Кирова на расстоянии от 1 до 4,5 км от городских предприятий теплоэнергетики — ТЭЦ-4 и ТЭЦ-5, а также селитебную зону в северной части г. Кирово-Чепецка, расположенную на расстоянии 1,3–2 км от ТЭЦ-3. Кластер 2 включал селитебные зоны, расположенные на удалении от 4,5 до 12 км от ТЭЦ-4 и ТЭЦ-5, на удалении от 2 до 9 км от ТЭЦ-3. В кластер 3 вошла часть зоны влияния, удаленная на расстояние свыше 9–12 км от предприятий теплоэнергетики. Вещественный и фазово-минералогический состав пыли летучей золы определялся методами спектрального и рентгенофазового анализа. Оценка риска здоровью населения выполнена согласно Р 2.1.10.1920-04 «Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду». Для ранжирования канцерогенов

определялся индекс сравнительной канцерогенной опасности (HRIC). С целью ранжирования веществ по неканцерогенной опасности определялся индекс сравнительной неканцерогенной опасности (HRI). Оценка риска канцерогенных эффектов включала расчет индивидуального (CR) и суммарного (CR_т) канцерогенных рисков для резидентного населения. Для количественной оценки неканцерогенной опасности загрязнения атмосферного воздуха вредными химическими веществами были рассчитаны коэффициенты опасности (HQ) и индекс опасности (HI). Расчет относительного риска смертности и заболеваемости населения выполнен согласно данным мета-анализа международных эпидемиологических исследований [15]. Оценка распределения количественных данных выполнена с помощью критерия Шапиро – Уилка. Все включенные в исследование данные имели распределение, близкое к нормальному, и представлены в виде 95 % доверительных интервалов (95 CI %) средней арифметической. Статистическая значимость различия количественных данных оценивалась при помощи однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) с апостериорными сравнениями по критерию Ньюмена – Кейлса [12]. В качестве критического уровня статистической значимости различия (p) выбран уровень p < 0,05. Статистическая обработка данных выполнена с помощью программных пакетов Microsoft Excel и Statistica 10.

Результаты

Осредненные данные по соотношению видов топлива в топливном балансе для указанных сценариев работы представлены в табл. 1.

Таблица 1

Топливный баланс ТЭЦ (CI 95 %)

Сценарий	Доля в топливном балансе, %		
	Твердое топливо	Мазут	Природный газ
Первый	44,56–61,79	0,39–2,96	37,74–52,56
Второй	17,68–22,76	0–0,12	77,15–82,31
Третий	27,42–30,3	0,16–0,64	68,44–72,36
p	<0,001	<0,001	<0,001

Первый сценарий относится к периоду работы ТЭЦ с 1997 по 2000 год и характеризуется долей твердого топлива (в пересчете на условное топливо) более 50 %, при этом основную долю в структуре атмосферных выбросов составили пыль летучей золы и диоксид серы. Второй сценарий работы наблюдался с 2001 по 2008 год и отличался значительным преобладанием газообразного топлива в топливном балансе (доля природного газа около 80 %), снижением массы атмосферных выбросов твердых частиц и диоксида серы. Третий сценарий относится к периоду работы с 2009 по 2015 год. Наблюдается тенденция к увеличению потребления твердого топлива в среднем 10 % и снижению доли природного газа в топливном

балансе, отмечается увеличение в атмосферных выбросах массы взвешенных веществ, диоксида серы, оксида углерода и оксидов азота по сравнению с предыдущим периодом.

Твердыми частицами в составе атмосферных выбросов многотопливных ТЭЦ являются летучая зола и сажа (углерод), величина эмиссии которых в атмосферный воздух зависит от количества сжигаемого топлива, его зольности, технологии сжигания и эффективности золоулавливания [3, 8].

В табл. 2 приведены результаты сравнительного неканцерогенного ранжирования химических веществ в составе атмосферных выбросов многотопливной ТЭЦ.

Среди химических веществ в составе пылевых выбросов многотопливных ТЭЦ наибольший вклад в неканцерогенную опасность вносят оксид алюминия, диоксид кремния, пентоксид ванадия, оксид железа и сажа, марганец, хром, медь. Кроме того, тяжелые металлы в составе пыли летучей золы могут оказывать неканцерогенный эффект [6, 7].

Таблица 2

Сравнительная неканцерогенная опасность веществ в составе выбросов ТЭЦ

Вещество	CAS	RfC, мг/м ³	HRI	Ранг
Алюминия триоксид	1344-28-1	0,005	2400,60	1
Кремния диоксид	14464-46-1	0,05	570,06	2
Железа триоксид	1309-37-1	0,04	212,83	3
Магния оксид	1309-48-4	0,05	14,00	4
Сажа (углерод)	1333-86-4	0,05	10,06	5
Диванадий пентоксид	1314-62-1	7×10 ⁻⁵	10	5
Марганец	7439-96-5	5×10 ⁻⁵	9,5	6
Хром	7440-47-3	0,0001	3,69	7
Медь	7440-50-8	2×10 ⁻⁵	2,85	8
Никель	7440-02-0	5×10 ⁻⁵	0,48	9
Мышьяк	7440-38-2	3×10 ⁻⁵	0,41	10
Титана диоксид	13463-67-7	0,03	0,29	11
Цинк	7440-66-6	0,0009	0,1	12
Кадмий	7440-43-9	2×10 ⁻⁵	0,025	13
Свинец	7439-92-1	0,0005	0,005	14
Галлий	7440-55-3	0,04	0,002	15
Фтор	7782-41-4	0,034	0,0001	16

Ряд веществ, входящих в состав летучей золы многотопливной ТЭЦ, являются канцерогенами и в зависимости от уровня доказанности канцерогенного эффекта относятся к определенной группе классификации Международного агентства по изучению рака – МАИР (табл. 3).

Диванадий пентоксид, сажа, мышьяк, кадмий и хром (валентность VI) в составе летучей золы относятся к группе 1 классификации МАИР и являются

Таблица 3

Сравнительная канцерогенная опасность веществ в составе летучей золы

Вещество	Группа МАИР	SFi (кг/сут/мг)	URi	HRic	Ранг
Диванадий пентоксид	1	29,1	$8,3 \times 10^{-3}$	10,0	1
Углерод (сажа)	1	0,0155	$4,43 \times 10^{-6}$	10,0	2
Хром	1	42	$8,4 \times 10^{-2}$	5,75	3
Мышьяк	1	15	$4,3 \times 10^{-3}$	1,62	4
Никель	2В	0,84	$2,6 \times 10^{-4}$	0,1	5
Кадмий	1	6,3	$1,09 \times 10^{-4}$	0,04	6
Свинец	2А	0,042	$1,2 \times 10^{-5}$	0,0007	7

веществами с доказанным канцерогенным действием для человека. Никель и свинец относятся к группе 2 и имеют ограниченные данные в пользу их канцерогенности для человека и свидетельства разной степени достаточности о канцерогенном эффекте у животных. Двухвалентный хром принадлежит к группе 3 и относится к веществам с ограниченными сведениями об их канцерогенности для человека и животных.

В табл. 4 представлены 95 % доверительные интервалы значений суммарного канцерогенного риска для выделенных районов в зоне влияния атмосферных выбросов ТЭЦ в зависимости от сценария работы. Данные таблицы показывают, что уровень суммарного канцерогенного риска для резидентного населения в районе 1 во время реализации всех трех сценариев топливного баланса ТЭЦ находится выше верхней границы приемлемого риска, равной 10^{-4} . Для резидентного населения районов 2 и 3 уровень суммарного канцерогенного риска находится в пределах приемлемых значений (10^{-6} – 10^{-4}).

Таблица 4

Уровень канцерогенного риска для резидентного населения (СІ 95 %)

Район	Сценарий работы ТЭЦ			р
	Первый	Второй	Третий	
1	$3,8 \times 10^{-4}$ – $4,8 \times 10^{-4}$	$9,5 \times 10^{-5}$ – $1,2 \times 10^{-4}$	$1,4 \times 10^{-4}$ – $1,7 \times 10^{-4}$	<0,001
2	$1,8 \times 10^{-4}$ – $2,0 \times 10^{-4}$	$4,8 \times 10^{-5}$ – $5,2 \times 10^{-5}$	$7,0 \times 10^{-5}$ – $7,6 \times 10^{-5}$	<0,001
3	$9,2 \times 10^{-5}$ – $9,7 \times 10^{-5}$	$2,4 \times 10^{-5}$ – $2,6 \times 10^{-5}$	$3,5 \times 10^{-5}$ – $3,8 \times 10^{-5}$	<0,001
р	<0,001	<0,001	<0,001	

В табл. 5 приведен уровень неканцерогенного риска при хроническом ингаляционном воздействии для резидентного населения в виде индекса опасности, представляющего собой сумму коэффициентов опасности химических веществ, входящих в состав твердых частиц.

Значения индекса опасности превышают единицу во время реализации первого сценария в рецепторных точках районов 1 и 2, во время реализации второго и третьего сценариев только в районе 1.

В табл. 6 представлен относительный риск обращений за медицинской помощью и смертности от

Таблица 5

Уровень неканцерогенного риска для резидентного населения, хроническое действие (СІ 95 %)

Район	Сценарий работы ТЭЦ			р
	Первый	Второй	Третий	
1	2,37–2,96	0,59–0,73	0,85–1,05	<0,001
2	1,13–1,23	0,3–0,33	0,44–0,47	<0,001
3	0,57–0,6	0,15–0,17	0,22–0,24	<0,001
р	<0,001	<0,001	<0,001	

Таблица 6

Относительный риск обращений и госпитализаций по поводу болезней системы кровообращения и органов дыхания (СІ 95 %)

Класс болезней	Район	Сценарий работы ТЭЦ			р
		Первый	Второй	Третий	
Болезни системы кровообращения	1	1,09–1,11	1,02–1,03	1,03–1,04	<0,001
	2	1,04–1,05	1,011–1,012	1,017–1,018	<0,001
	3	1,02–1,03	1,005–1,006	1,008–1,009	<0,001
Болезни органов дыхания	1	1,08–1,1	1,021–1,026	1,03–1,04	<0,001
	2	1,03–1,04	1,01–1,012	1,015–1,016	<0,001
	3	1,02–1,021	1,005–1,006	1,007–1,008	<0,001
Смертность по причине БСК и БОД	1	1,14–1,8	1,07–1,35	1,09–1,45	<0,001
	2	1,1–1,51	1,04–1,21	1,05–1,27	<0,001
	3	1,06–1,32	1,02–1,12	1,03–1,16	<0,001

болезней системы кровообращения и органов дыхания при длительном периоде экспозиции в зависимости от изменения расчетных приземных концентраций частиц летучей золы $PM_{2,5}$ при смене сценария топливного баланса.

Наибольшие значения относительного риска наблюдаются при реализации первого сценария, где в районе 1 популяционный риск составил от 5 306 до 6 485 дополнительных случаев обращений и госпитализаций по причине болезней системы кровообращения (БСК) и от 2 434 до 3 046 по поводу болезней органов дыхания (БОД); в районе 2 – от 2 062 до 2 948 по причине БСК и от 798 до 1 064 по причине БОД; в районе 3 – от 644 до 966 по причине БСК и от 322 до 350 по причине БОД. При переходе ко второму сценарию наблюдается значительное снижение уровня относительного и соответственно популяционного рисков: в районе 1 популяционный риск составил от 1 179 до 1 769 дополнительных случаев обращений и госпитализаций по причине БСК и от 639 до 792 по поводу БОД; в районе 2 – от 567 до 619 по причине БСК и от 265 до 320 по причине БОД; в районе 3 – от 161 до 193 по причине БСК и от 83 до 99 по причине БОД. В период реализации третьего сценария

топливного баланса отмечается рост уровня риска обращений за медицинской помощью и госпитализаций по поводу болезней системы кровообращения и органов дыхания. Наибольшие значения относительного риска смертности от кардиореспираторных причин наблюдаются при реализации первого сценария топливного баланса. Во всех сценариях уровень относительного риска имеет максимальное значение для населения, проживающего в селитебных зонах, относящихся к району 1. Так, в районе 1 при реализации первого сценария темп прироста смертности от БСК и БОД составляет от 14 до 80 % (216–1 236 дополнительных случаев смерти); в районе 2 – от 10 до 51 % (138–701 дополнительных случаев смерти); в районе 3 – от 6 до 32 % (29–156 дополнительных случаев смерти). В районе 2 при реализации первого сценария темп прироста смертности от болезней системы кровообращения и органов дыхания составляет от 14 до 80 % (216–1 236 дополнительных случаев смерти); в районе 2 – от 10 до 51 % (138–701 дополнительных случаев смерти); в районе 3 – от 6 до 32 % (29–156 дополнительных случаев смерти).

Обсуждение результатов

Изменение топливного баланса в сторону увеличения доли твердого топлива приводит к увеличению объема выбросов не только химических соединений, но и твердых частиц, что способствует повышению уровня канцерогенной и неканцерогенной опасности для населения, проживающего в зоне влияния атмосферных выбросов многотопливных предприятий теплоэнергетики [11, 13, 18]. Наибольшему риску здоровью при воздействии твердых частиц в составе выбросов многотопливных ТЭЦ подвергается население, проживающее в селитебных зонах, расположенных на относительно небольшом расстоянии от предприятий теплоэнергетики (1–5 км). Полученные результаты согласуются с отечественным и зарубежным опытом применения методологии оценки риска для сравнительного анализа вреда здоровью населения предприятий теплоэнергетики в зависимости от используемых видов топлива [10, 14, 16, 17]. Риск здоровью населения при реализации различных сценариев работы ТЭЦ, учитывающих изменения соотношения твердого и газообразного топлива в топливном балансе, изменение мощности и модернизацию оборудования ТЭЦ, был детально изучен в комплексе исследований, выполненных в Москве, Воронеже, Великом Новгороде, Вельске и Нижнем Новгороде. Результаты данных исследований доказали, что увеличение доли твердого топлива в топливном балансе ТЭЦ в отсутствие модернизации топочных систем котлоагрегатов и систем пылегазоочистки способствует значительному повышению риска смертности от болезней органов дыхания и заболеваемости БОД, а также канцерогенного риска у населения, проживающего в зоне влияния выбросов предприятий теплоэнергетики [2,

5, 6]. Увеличение электрической и тепловой мощности ТЭЦ в отсутствие модернизации оборудования так же приведет к росту уровня риска здоровью [1]. В странах Европейского Союза в рамках проекта ExternE был выполнен комплекс исследований по оценке экологических и экономических последствий эксплуатации различных источников энергии, в частности электростанций, использующих в качестве топлива каменный и бурый уголь, а также природный газ. В данных исследованиях подчеркивается приоритетная роль мелкодисперсных фракций летучей золы в развитии негативных последствий для здоровья. Согласно результатам исследований проекта ExternE, наибольший экономический ущерб наносят: увеличение уровня смертности населения, а также увеличение частоты обращений и госпитализаций по поводу БОД в результате воздействия выбросов твердотопливных электростанций. Экономический ущерб, связанный с дополнительными случаями смерти и заболеваний в результате воздействия выбросов твердотопливных электростанций в 3–4 раза выше по сравнению с аналогичным показателем для электростанций, основным топливом которых служит природный газ [17]. Основу комплексных мероприятий по экологической безопасности населения в районах размещения многотопливных городских ТЭЦ составляют современные инженерно-технические разработки, обеспечивающие гигиеническую и экологическую рационализацию производства электрической и тепловой энергии. На Кировской ТЭЦ-4 начиная с 2009 года по отраслевой программе модернизации проводятся работы по реконструкции энергетических котлов БКЗ-210-140Ф путем внедрения низкотемпературной вихревой технологии сжигания твердого органического топлива [9].

Таким образом, изменения топливного баланса многотопливных ТЭЦ, обусловленные экономическими и логистическими соображениями, оказывают значимое влияние на уровень риска здоровью населения в отношении заболеваемости и смертности по причине болезней системы кровообращения и органов дыхания. Для планирования мероприятий по управлению риском здоровью населения в системе социально-гигиенического мониторинга необходимо дифференцировать жилые районы, находящиеся в зоне влияния атмосферных выбросов многотопливных ТЭЦ, в зависимости от уровня риска, выделяя при этом селитебные зоны повышенного риска здоровью населения.

Авторство

Петров С. Б. внес существенный вклад в концепцию и дизайн исследования, получение, анализ и интерпретацию данных, подготовил первый вариант статьи; Петров Б. А. внес существенный вклад в концепцию и дизайн исследования, участвовал в анализе данных, окончательно утвердил присланную в редакцию рукопись.

Петров Борис Алексеевич – ORCID 0000-0003-2690-5230; SPIN: 9940-9168

Петров Сергей Борисович – ORCID 0000-0002-2592-4432; SPIN: 4437-0407

Список литературы

1. Авалиани С. Л., Буштуева К. А., Голуб А. А. Медико-демографическая оценка выгод от снижения выбросов парниковых газов // Сборник материалов международного семинара (5–6 апреля 2004 г.). М.: АдамантЪ, 2004. С. 185–194.
2. Величковский Б. Т. Патогенетическое значение пиковых подъемов среднесуточных концентраций взвешенных частиц в атмосферном воздухе населенных мест // Гигиена и санитария. 2002. № 6. С. 14–16.
3. Крылов Д. А., Путинцева В. П. Оценки выбросов в атмосферу SO₂ и NO_x, твердых частиц и тяжелых металлов при работе ТЭС, использующих кузнецкий и канско-ачинский уголь // Бюллетень по атомной энергии. 2005. № 4. С. 32–36.
4. Куликов М. А., Гаврилов Е. И., Демин В. Ф., Захарченко И. Е. Риск воздействия атмосферных выбросов электростанций на здоровье населения // Теплоэнергетика. 2009. № 1. С. 71–76.
5. Мирзакаримова М. А., Искандарова Ш. Т. Гигиеническая оценка комбинированного действия загрязнений в атмосферном воздухе населенных мест // Гигиена и санитария. 2008. № 4. С. 10–12.
6. Петров С. Б., Петров Б. А. Оценка комплексного влияния аэротехногенных загрязнителей городской среды на заболеваемость населения // Фундаментальные исследования. 2012. № 5-1. С. 100–104.
7. Ревич Б. А. К оценке влияния деятельности ТЭК на качество окружающей среды и здоровье населения // Проблемы прогнозирования. 2010. № 4. С. 87–99.
8. Резинских В. Ф., Гринь Е. А. Надежность и безопасность ТЭС России на современном этапе: проблемы и перспективные задачи // Теплотехника. 2010. № 1. С. 2–9.
9. Скудицкий В. Е., Григорьев К. А., Аношин Р. Г., Османов В. В. Комплексная модернизация пылеугольных котлов на основе низкотемпературной вихревой технологии сжигания // Энергосбережение и энергоэффективность экономики Кузбасса. 2010. № 8. С. 31–34.
10. Табакаев М. В., Артамонова Г. В. Влияние загрязнения атмосферного воздуха взвешенными веществами на распространенность сердечно-сосудистых заболеваний среди городского населения // Вестник Российской академии медицинских наук. 2014. Т. 69, № 3–4. С. 55–60.
11. Унгурияну Т. Н., Новиков С. М., Бузинов Р. В., Гудков А. Б., Осадчук Д. Н. Риск для здоровья населения от химических веществ, загрязняющих атмосферный воздух, в городе с развитой целлюлозно-бумажной промышленностью // Гигиена и санитария. 2010. № 4. С. 21–24.
12. Халафян А. А. Современные статистические методы медицинских исследований. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. 320 с.
13. Чащин В. П., Сюрин С. А., Гудков А. Б., Попова О. Н., Воронин А. Ю. Воздействие промышленных загрязнений атмосферного воздуха на организм работников, выполняющих трудовые операции на открытом воздухе в условиях холода // Медицина труда и промышленная экология. 2014. № 9. С. 20–26.
14. Brunekreef B. Air pollution and health // Lancet. 2002. N 10. Vol. 360. P. 1233–1242.
15. Ostro B. Outdoor Air Pollution: Assessing the Environmental Burden of Disease at National and Local Levels (World Health Organization Environmental Burden of Disease Series No. 5, WHO, Geneva, 2004)

16. Peng R. D., Bell M. L., Geyh A. S., McDermott A., Zeger S. L., Samet J. M., Dominici F. Emergency Admissions for Cardiovascular and Respiratory Diseases and the Chemical Composition of Fine Particle Air Pollution // Environ. Health Perspect. 2009. N 6. Vol. 117. P. 957–963.

17. Sarnat J. A., Marmur A., Klein M. Fine Particle Sources and Cardiorespiratory Morbidity: An Application of Chemical Mass Balance and Factor Analytical Source-Appportionment Methods // Environ. Health Perspect. 2008. N 4. Vol. 116. C. 459–466.

18. Unguryanu T., Novikov S., Buzinov R., Gudkov A., Grjibovski A. Respiratory diseases in a town with heavy pulp and paper industry // Epidemiologia and prevenzione. 2010. Vol. 34, iss. 5–6. P. 138

References

1. Avaliani S. L., Bushtueva K. A., Golub A. A. Mediko-demograficheseskaya otsenka vygod ot snizheniya vybrosov parnikovoykh gazov [Health and demographic evaluation of the benefits of reducing greenhouse gas emissions]. In: *Sbornik materialov mezhdunarodnogo seminara (5-6 aprelya 2004 g.)* [Collection of materials of the international seminar (April 5-6, 2004)]. Moscow, Adamant Publ., 2004, pp. 185-194.
2. Velichkovskiy B. T. Pathogenetic significance of peak climbs of average daily concentrations of particle matter in the atmospheric air of populated areas. *Gigiena i Sanitariya*. 2002, 6, pp. 14-16. [In Russian]
3. Krylov D. A., Putintseva V. P. Estimates of emissions of SO₂ and NO_x, particulates and heavy metals during the operation of the thermal power plants that use the Kuznetsk and Kansk-Achinsk coal. *Byulleten' po atomnoy energii* [The Bulletin of atomic energy]. 2005, 4, pp. 32-36. [In Russian]
4. Kulikov M. A., Gavrilov E. I., Demin V. F., Zakharchenko I. E. Risk of influence of atmospheric emissions of power plants on health of the population. *Teploenergetika* [Heat power engineering]. 2009, 1, pp. 71-76. [In Russian]
5. Mirzakarimova M. A., Iskandarova Sh. T. Hygienic assessment of combined action of pollution in the atmospheric air of populated areas. *Gigiena i Sanitariya*. 2008, 4, pp. 10-12. [In Russian]
6. Petrov S. B., Petrov B. A. Estimation of complex influence of aerotechnogenic pollutants of the city environment on the population morbidity. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental studies]. 2012, 5-1, pp. 100-104. [In Russian]
7. Revich B. A. To assess the impact of the energy sector on the quality of the environment and public health. *Problemy prognozirovaniya*. 2010, 4, pp. 87-99. [In Russian]
8. Rezinskikh V. F., Grin' E. A. The reliability and safety of thermal power plant of Russia at the present stage: problems and future tasks. *Teplotekhnika* [Thermotechnics]. 2010, 1, pp. 2-9. [In Russian]
9. Skuditskiy V. E., Grigoriev K. A., Zykin Yu. V. Experience of low-temperature vortex combustion of various fuels in the boiler BKZ-210-13,8 Kirov CHPP-4. *Elektricheskie stantsii* [Electrical stations]. 2010, 4, pp. 9-13. [In Russian]
10. Tabakaev M. V., Artamonova G. V. Particulate matter air pollution effects on the incidence of heart diseases among the urban population. *Vestnik Rossiyskoy akademii meditsinskikh nauk* [Annals of the Russian Academy of medical Sciences]. 2014, 69 (3-4), pp. 55-60. [In Russian]
11. Unguryanu T. N., Novikov S. M., Buzinov R. V., Gudkov A. B., Osadchuk D. N. Public health risk from chemicals, air pollutants in the city with developed pulp and

paper industry. *Gigiena i Sanitariya*. 2010, 4, pp. 21-24. [In Russian]

12. Khalafyan A. A. *Sovremennye statisticheskie metody meditsinskikh issledovaniy* [Modern statistical methods of medical research]. Moscow, 2008, 320 p.

13. Chashchin V. P., Syurin S. A., Gudkov A. B., Popova O. N., Voronin A. Yu. Influence of industrial pollution of ambient air on health of workers engaged into open air activities in cold conditions. *Meditsina truda i promyshlennaia ekologiya*. 2014, 9, pp. 20-26. [In Russian]

14. Brunekreef B. Air pollution and health. *Lancet*. 2002, 10 (360), pp. 1233-1242.

15. Ostro B. Outdoor Air Pollution: Assessing the Environmental Burden of Disease at National and Local Levels (World Health Organization Environmental Burden of Disease Series No. 5, WHO, Geneva, 2004)

16. Peng R. D., Bell M. L., Geyh A. S., McDermott A., Zeger S. L., Samet J. M., Dominici F. Emergency Admissions for Cardiovascular and Respiratory Diseases and the Chemical

Composition of Fine Particle Air Pollution. *Environ. Health Perspect.* 2009, 117 (6), pp. 957-963.

17. Sarnat J. A., Marmur A., Klein M. Fine Particle Sources and Cardiorespiratory Morbidity: An Application of Chemical Mass Balance and Factor Analytical Source- Apportionment Methods. *Environ. Health Perspect.* 2008, 116 (4), pp. 459-466.

18. Unguryanu T., Novikov S., Buzinov R., Gudkov A., Grijbovski A. Respiratory diseases in a town with heavy pulp and paper industry. *Epidemiologia and prevenzione*. 2010, 34 (5-6), p. 138.

Контактная информация:

Петров Сергей Борисович, кандидат медицинских наук, доцент, заведующий кафедрой гигиены ФГБОУ ВО «Кировский государственный медицинский университет» Минздрава России

Адрес: 610998, г. Киров, ул. Карла Маркса, д. 112

E-mail: sbpetrov@mail.ru