

УДК 614.72:(616.1+616.2)

ЭКОЛОГО-ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ НАСЕЛЕНИЯ БОЛЕЗНЯМИ СИСТЕМЫ КРОВООБРАЩЕНИЯ И ОРГАНОВ ДЫХАНИЯ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ АТМОСФЕРНЫХ ВЫБРОСОВ МНОГОТОПЛИВНОЙ ТЕПЛОЭЛЕКТРОЦЕНТРАЛИ

© 2018 г. С. Б. Петров

ГБОУ ВО «Кировский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Киров

Цель исследования – оценка первичной заболеваемости и распространенности болезней системы кровообращения и органов дыхания у взрослого населения, проживающего в зоне влияния атмосферных выбросов многотопливной теплоэлектроцентрали (ТЭЦ). *Методы.* Исследование выполнено на территории г. Кирова, регионального центра северо-востока европейской части России, в зоне влияния атмосферных выбросов городской ТЭЦ № 4. С помощью кластерного анализа в топливном балансе ТЭЦ выделено два временных периода, отличающихся по соотношению видов топлива в топливном балансе: период 2001–2008 гг. (доля твердого топлива составляла 17–22 %) и период 2009–2015 гг., характеризующийся увеличением доли твердого топлива в топливном балансе до 27–32 %. На основании данных моделирования рассеяния выбросов ТЭЦ с помощью кластерного анализа выполнено районирование зоны влияния атмосферных выбросов предприятия теплоэнергетики: выделено два района (кластера), статистически значимо различающихся по уровню расчетных приземных концентраций взвешенных частиц, диоксида серы и оксида углерода. В каждом выделенном районе для каждого временного периода выполнен анализ первичной заболеваемости и распространенности болезней системы кровообращения и органов дыхания. *Результаты.* Увеличение доли твердого топлива в топливном балансе сопровождается увеличением массы выбросов пыли летучей золы, сажи, диоксида серы и ростом уровня первичной заболеваемости и распространенности болезней системы кровообращения и дыхания у населения, проживающего в зоне влияния атмосферных выбросов многотопливной ТЭЦ. Уровень заболеваемости статистически значимо выше в жилых зонах, находящихся непосредственно в районе размещения теплоэлектроцентрали – вблизи границ санитарно-защитной зоны по направлению господствующих ветров. *Вывод:* показатели заболеваемости населения болезнями системы кровообращения, органов дыхания и относительного риска их развития у взрослого населения в зоне влияния многотопливной ТЭЦ зависят от характера топливного баланса, удаленности жилой зоны от предприятия и повторяемости ветров в направлении от источника выбросов к жилым районам.

Ключевые слова: взвешенные вещества, диоксид серы, оксиды азота, заболеваемость, болезни системы кровообращения, болезни органов дыхания

ECOLOGICAL AND EPIDEMIOLOGICAL ASSESSMENT OF MORBIDITY DISEASES OF THE CIRCULATORY AND RESPIRATORY SYSTEMS IN THE ZONE OF INFLUENCE OF ATMOSPHERIC EMISSIONS OF MULTIFUEL THERMAL STATION

S. B. Petrov

Kirov State Medical University, Kirov, Russia

The aim of the study was to assess the primary morbidity and prevalence of diseases of the circulatory and respiratory systems in the adult population living in the zone of influence of atmospheric emissions of multi-fuel thermal station. *Methods:* The study was carried out on the territory of Kirov, in the zone of influence of atmospheric emissions of urban heat and power plant. By means of cluster analysis in the fuel balance of thermal power plants 2 time periods differing on the ratio of fuel types in the fuel balance were allocated: the period from 2001 to 2008 (the share of solid fuel was 17–22 %) and the period from 2009 to 2015 - characterized by increase in the share of solid fuel in the fuel balance to 27–32 %. On the data basis of simulation of thermal station emission dispersion zonation of atmospheric emission influence from thermal station was carried out. Two districts (clusters) were pointed. They differ significantly on a level of a calculated ground level concentration of particulates, sulfur dioxide and carbonic oxide. In each pointed area and for each timeframe the analysis of primary disease incidence of circulatory and respiratory systems was carried out. *Results:* the increase in the share of solid fuel in the fuel balance is accompanied by an increase in the mass of dust emissions of fly ash, soot, sulfur dioxide and an increase in the level of primary morbidity and prevalence of diseases of the circulatory and respiratory systems in the population of residential areas directly adjacent to the sanitary protection zone of the multifuel thermal station and located in the direction of prevailing winds. *Conclusion:* management decisions on expansion of multi-fuel thermal power complexes and changes in the fuel balance must necessarily be accompanied by an assessment of the health risk of the population and measures to reduce risks to an acceptable level.

Key words: airborne particle matter, sulfur dioxide, nitrogen oxides, morbidity, diseases of the circulatory system, respiratory diseases

Библиографическая ссылка:

Петров С. Б. Эколого-эпидемиологическая оценка заболеваемости населения болезнями системы кровообращения и органов дыхания в зоне влияния атмосферных выбросов многотопливной теплоэлектроцентрали // Экология человека. 2018. № 6. С. 18–24.

Petrov S. B. Ecological and Epidemiological Assessment of Morbidity Diseases of the Circulatory and Respiratory Systems in the Zone of Influence of Atmospheric Emissions of Multifuel Thermal Station. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2018, 6, pp. 18–24.

Основная часть энергии производится путем сжигания органического топлива на предприятиях теплоэнергетики. В мировой практике доля энергетики на органическом топливе составляет более 90 %. По данным исследований, выполненных в различные периоды, предприятия теплоэнергетики относятся к числу наиболее значимых и распространенных источников загрязнения атмосферного воздуха населенных мест вредными химическими веществами, оказывающих существенное негативное влияние на здоровье населения [1]. В настоящее время в топливном балансе предприятий 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 перекаса в топливном балансе теплоэнергетической системы страны и увеличение в нем доли угля и торфа. При реализации данной стратегии существенный интерес могут представлять многотопливные теплоэнергетические комплексы, оборудование которых позволяет одновременно использовать твердое и газообразное топливо в различных соотношениях.

Целью настоящего исследования являлась оценка первичной заболеваемости и распространенности болезней системы кровообращения и органов дыхания у взрослого населения, проживающего в зоне влияния атмосферных выбросов многотопливной теплоэлектроцентрали.

Методы

Исследование выполнено на территории г. Кирова, регионального центра северо-востока европейской части России. Жилые районы города находятся в зоне влияния атмосферных выбросов многотопливной теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) № 4. ТЭЦ № 4 расположена в северо-западной части города и имеет санитарно-защитную зону 500 м и зону ограничения строительства нового жилья 1 200 м. Основное топливо — природный газ, уголь и торф, резервное — мазут. Особенностью котлоагрегатов ТЭЦ № 4 является конструкция горелочных устройств, позволяющая сжигать газ и твердое топливо в разных соотношениях в одной горелке (совместное сжигание). Это обеспечивает высокую надежность и маневренность работы котлов. Учитывая, что топливный баланс в течение этого времени неоднократно менялся, для выявления общих тенденций и выделения отдельных периодов был использован кластерный анализ. Первичные данные о валовых выбросах в атмосферный воздух от ПТЭ получены из ежегодных материалов официальной государственной статистической отчетности по форме «2ТП — Воздух». 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) и универсальной программы расчета загрязнения атмосферы (УПРЗА) «Эко центр». Расчет приземных концентраций веществ, входящих в состав атмосферных выбросов ТЭЦ, выполнен в 400 рецепторных точках, расположенных в селитебных зонах города Кирова. Заболеваемость взрослого населения (не имеющего контакта с производственными вредностями) болезнями системы кровообращения (БСК) и органов дыхания (БОД) изучалась путем анализа данных учета случаев обращений за медицинской помощью в городские учреждения здравоохранения (ф. № 12 государственной статистической отчетности). Учитывались следующие нозологические единицы: гипертоническая болезнь с преимущественным поражением сердца (ГБ), ишемическая болезнь сердца (ИБС), стенокардия, острый инфаркт миокарда (ОИМ), цереброваскулярная болезнь (ЦВБ), хронический бронхит (ХБ), хроническая обструктивная болезнь легких (ХОБЛ), бронхиальная астма (БА). Оценка нормальности распределения изучаемых количественных данных выполнена с помощью критерия Шапиро — Уилка. Применение данного критерия показало, что количественные признаки, изучаемые в данном исследовании, имеют близкое к нормальному распределение. Количественные данные представлены в виде 95 % доверительных интервалов (95 % CI) средней арифметической. Уровень первичной заболеваемости и распространенности БСК и БОД представлен количеством случаев на 1 000 человек взрослого населения в виде 95 % CI. При анализе первичной заболеваемости и распространенности заболеваний были рассчитаны коэффициенты относительного риска (RR) по формуле: $RR = p_1/p_2$, где RR — коэффициент относительного риска, p_1 и p_2 — вероятности развития заболеваний системы кровообращения и дыхания в сравниваемых районах, отличающихся по уровню воздействия атмосферных выбросов многотопливной ТЭЦ [17]. Коэффициенты относительного риска представлены в виде 95 % CI. Оценка статистической значимости различий количественных данных выполнена с помощью критерия Стьюдента для несвязанных выборок. Перед применением данного критерия выполнялся тест на однородность дисперсий (тест Левена). Оценка статистической значимости различий по уровню заболеваемости выполнена с помощью критерия z. Критическим уровнем статистической значимости различий выборочных данных (p) выбрано значение $p < 0,05$. Выделение сценариев топливного баланса и районирование зоны влияния атмосферных выбросов ТЭЦ выполнены с помощью кластерного анализа методом k-средних [13]. Моделирование и статистическая обработка данных выполнены в программах WinBUGS 1.4 и Statistica 10.

Результаты

В период с 2001 по 2015 г. с помощью кластерного анализа выделено два сценария топливного баланса

городской ТЭЦ № 4, соответствующих двум временным интервалам: сценарий, характеризующийся долей твердого топлива в топливном балансе 17–22 %, реализуемый в 2001–2008 гг., и сценарий, отличающийся долей твердого топлива от 27 до 32 % в 2009–2015 гг. Соотношение и масса загрязнителей атмосферного воздуха в составе выбросов также менялось в зависимости от сценария топливного баланса (табл. 1 и 2).

Таблица 1
Топливный баланс теплоэлектроцентрали, % (95 % CI)

Период, годы	Доля в топливном балансе			
	Уголь	Торф	Мазут	Природный газ
2001–2008	3,08–7,92	12,09–17,48	0,01–0,12	77,15–82,31
2009–2015	6,52–13,97	15,92–22,11	0,16–0,64	68,44–72,36

Таблица 2
Доля твердого топлива в топливном балансе и атмосферные выбросы теплоэлектроцентрали (95 % CI)

Доля твердого топлива, %	Взвешенные частицы, т/год	Диоксид серы, т/год	Оксид углерода, т/год	Оксиды азота, т/год
17–22	1298,8–1918,7	1844,1–2402,7	206,8–263,3	2019,5–2344,2
27–32	2059,3–2660,8	2592,3–3708,9	286,6–355,8	2243,1–2407,2
p	<0,001	<0,001	<0,001	0,45

Как видно из данных таблиц, между сценариями топливного баланса имеются статистически значимые различия по соотношению и массе веществ в атмосферных выбросах. В период 2001–2008 гг. выбросы предприятия теплоэнергетики составляли взвешенные частицы (пыль летучей золы, сажа), диоксид серы, оксиды азота. В период 2009–2015 гг. отмечается рост массы выбросов взвешенных веществ и диоксида серы, связанный с увеличением доли твердого топлива в топливном балансе. Отмечается, что масса оксидов азота не имеет статистически значимых различий при сравнении двух сценариев топливного баланса.

С помощью кластерного анализа в зоне влияния атмосферных выбросов было выделено два района (кластера), статистически значимо отличающихся по расчетному уровню загрязнения атмосферного воздуха выбросами ТЭЦ. Район 1 включал часть зоны влияния, расположенную в северном, северо-восточном и восточном направлении (что соответствует направлению господствующих ветров) на удалении от 1,2 до 4 км от ТЭЦ. Район 2 включал территорию, расположенную на удалении 1,2–6 км в юго-восточном, южном, юго-западном, западном и северо-западном направлениях от ТЭЦ и часть зоны влияния, расположенную в северном, северо-восточном и восточном направлении на удалении 4–6 км от ТЭЦ.

В табл. 3 приведены 95 % CI значений расчетных среднегодовых приземных концентраций для рецеп-

торных точек выделенных районов зоны влияния в установленные временные периоды.

Таблица 3
Расчетные среднегодовые приземные концентрации, мкг/м³ (95 % CI)

Вещество	Район 1		Район 2	
	2001–2008	2009–2015	2001–2008	2009–2015
Летучая зола	2,5–2,8	3,5–5,0	0,9–1,1	1,0–1,4
Диоксид серы	1,6–1,8	2,3–2,8	0,5–0,6	0,9–1,0
Оксид углерода	0,01–0,02	0,2–0,3	0,06–0,07	0,09–0,1
Оксид азота	0,2–0,3	0,4–0,5	0,07–0,08	0,1–0,2
Диоксид азота	1,2–1,4	1,0–1,1	0,4–0,5	0,3–0,4

Отмечается статистически значимо высокий уровень расчетных концентраций в рецепторных точках района 1 по сравнению с концентрациями в точках района 2 ($p < 0,001$). В период 2009–2015 гг. уровень расчетных концентраций пыли летучей золы, диоксида серы и оксида углерода в выделенных районах статистически значимо выше ($p < 0,001$), чем в период 2001–2008-х. Расчетная концентрация оксидов азота статистически значимо выше в период 2001–2008 гг. по сравнению с периодом 2009–2015 ($p < 0,001$). Таким образом, уровень загрязнения атмосферного воздуха выбросами много-топливной ТЭЦ в определенной рецепторной точке зависит от соотношения видов топлива в топливном балансе и положения рецепторной точки относительно предприятия теплоэнергетики.

В табл. 4 представлены данные первичной заболеваемости БСК и БОД в выделенных районах во время реализации сценариев топливного баланса 2001–2008 и 2009–2015 гг.

По этим данным, в районе 1 статистически значимые различия по первичной заболеваемости в периоды 2001–2008 и 2009–2015 гг. наблюдаются для уровня общей первичной заболеваемости БСК и БОД, по отдельным нозологическим единицам значимых различий не выявлено. В районе 2 статистически значимое различие отмечено только для общей первичной заболеваемости БОД, по отдельным нозологическим единицам значимых различий не выявлено. Во время реализации обоих сценариев между районами 1 и 2 наблюдаются статистически значимые различия ($p < 0,05$) уровня первичной заболеваемости по всем представленным в таблице нозологическим единицам.

В табл. 5 представлены данные по уровню распространенности БСК и БОД в выделенных районах по временным периодам.

Как видно из данных таблицы, в районе 1 зоны влияния наблюдаются статистически значимые различия между периодами реализации сценариев топливного баланса ТЭЦ по уровню распространен-

Таблица 4
Первичная заболеваемость, ‰ (95 % CI)

Заболевание	Район 1		Район 2	
	2001–2008	2009–2015	2001–2008	2009–2015
ГБ	7,5–10,6	6,51–8,95	3,19–4,64	3,16–4,6
ИБС	5,12–7,28	5,59–7,86	3,24–4,52	2,62–3,95
Стенокардия	1,77–3,12	1,62–2,95	0,55–1,25	0,46–1,11
ОИМ	2,19–3,68	2,09–3,56	0,4–1,01	0,45–1,09
ЦВБ	9,38–12,22	7,9–10,56	3,57–5,1	3,22–4,68
БСК	35,77–41,13	42,38–48,1*	15,39–18,39	14,59–17,51
Пневмония	3,46–5,27	4,29–6,31	1,98–3,16	2,4–3,68
ХБ	1,35–2,56	0,77–1,75	0,54–1,23	0,35–0,94
ХОБЛ	0,6–1,5	0,34–1,08	0,1–0,28	0,1–0,17
БА	1,19–2,35	1,1–2,23	0,18–0,66	0,22–0,72
БОД	147,57–157,46	236,63–248,57*	214,24–223,87	236,44–245,66*

Примечания: * – различие с показателем периода 2001–2008 гг. статистически значимо ($p < 0,05$); ГБ – гипертоническая болезнь, ИБС – ишемическая болезнь сердца, ОИМ – острый инфаркт миокарда, ЦВБ – цереброваскулярная болезнь, БСК – болезни системы кровообращения, ХБ – хронический гастрит, ХОБЛ – хроническая обструктивная болезнь легких, БА – бронхиальная астма, БОД – болезни органов дыхания.

Таблица 5
Распространенность болезней системы кровообращения и органов дыхания, ‰ (95 % CI)

Заболевание	Район 1		Район 2	
	2001–2008	2009–2015	2001–2008	2009–2015
ГБ	152,54–162,56	189,62–200,65*	128,44–136,33	142,09–150,28*
ИБС	66,72–73,75	71,4–78,73*	56,53–62,02	55,18–60,6
Стенокардия	27,26–31,92	31,24–36,27*	24,46–28,19	25,18–28,95
ЦВБ	82,01–89,71	86,69–94,68*	52,82–58,15	47,44–52,49
БСК	349,17–346,34	412,59–426,33*	289,11–299,72	291,32–301,91
ХБ	12,4–15,63	10,6–13,64	11,76–14,4	11,18–13,75
ХОБЛ	8,55–11,27	10,57–13,61*	4,48–6,17	4,96–6,72
БА	13,53–16,9	18,22–22,13*	9,7–12,12	8,93–11,25
БОД	206,02–217,26	229,75–241,56*	278,85–289,35	293,27–303,87*

Примечание. * – различие с показателем 2001–2008 гг. статистически значимо ($p < 0,05$).

ности всех представленных заболеваний системы кровообращения и дыхания, кроме хронического бронхита. В районе 2, напротив, такие различия отмечены для распространенности гипертонической болезни и общего показателя распространенности БОД. Между выделенными районами зоны влияния отмечаются статистически значимые различия ($p < 0,05$) по уровню распространенности для всех представленных заболеваний.

В табл. 6 представлен уровень относительного риска первичной заболеваемости БСК и БОД в вы-

деленных районах в период реализации сценариев топливного баланса II и III при сравнении со средними показателями заболеваемости по г. Кирову в соответствующий временной период.

Таблица 6
Относительный риск по первичной заболеваемости болезнями системы кровообращения и органов дыхания (95 % CI)

Заболевание	Район 1		Район 2	
	2001–2008	2009–2015	2001–2008	2009–2015
ГБ	1,23–1,81	1,37–2,16	0,53–0,83	0,66–1,09
ИБС	0,93–1,64	1,24–1,92	0,58–0,91	0,59–0,96
Стенокардия	1,17–2,5	1,38–3,08	0,39–1,0	0,43–1,17
ОИМ	0,9–1,73	1,03–2,01	0,78–1,45	0,73–1,43
ЦВБ	1,51–2,18	1,59–2,36	0,59–0,91	0,66–1,04
БСК	1,59–1,9	1,71–2,07	0,58–0,72	0,7–0,88
Пневмония	0,8–1,33	1,03–1,66	0,46–0,8	0,58–0,97
ХБ	1,33–3,26	1,44–4,53	0,57–1,56	0,71–2,43
ХОБЛ	1,29–4,64	1,3–6,37	0,11–0,98	0,06–1,29
БА	1,33–3,45	1,22–3,10	0,26–0,99	0,3–1,03
БОД	0,81–0,87	1,17–1,25	0,83–0,91	1,11–1,15

В период 2001–2008 гг. в районе 1 зоны влияния наблюдаются показатели относительного риска выше единицы, кроме острого инфаркта миокарда, пневмонии и общей первичной заболеваемости БОД. В период 2009–2015 гг. в районе 1 показатели относительного риска статистически значимо выше единицы по всем представленным заболеваниям. Напротив, в районе зоны влияния 2 на протяжении обоих временных периодов наблюдаются статистически не значимые, невысокие показатели относительного риска. Отмечается, что в период 2009–2015 гг. в районе 1 относительный риск по первичной заболеваемости БСК и БОД выше по сравнению с периодом 2001–2008 гг. В районе 2 также наблюдается повышение значений относительного риска в период 2009–2015 гг., однако темп прироста ниже, чем в районе 1.

В табл. 7 представлен показатель относительного риска по уровню распространенности болезней системы кровообращения и дыхания в выделенных районах в период реализации сценариев топливного баланса II и III при сравнении со средними значениями распространенности изучаемых заболеваний по г. Кирову.

В районе 1 наблюдаются показатели относительного риска выше единицы по всем нозологическим единицам, кроме хронического бронхита. Отмечается увеличение показателей относительного риска в период 2009–2015 гг. для обоих районов зоны влияния. При этом темп прироста относительного риска значительно выше в районе 1.

Обсуждение результатов

В отличие от предприятий теплоэнергетики, работающих на одном виде топлива, топливный баланс многоотопливной ТЭЦ может включать виды твердого,

Таблица 7

Относительный риск по распространенности болезней системы кровообращения и органов дыхания (95 % CI)

Заболевание	Район 1		Район 2	
	2001–2008	2009–2015	2001–2008	2009–2015
ГБ	1,12–1,22	1,32–1,43	0,95–1,02	1,11–1,18
ИБС	1,14–1,3	1,34–1,52	0,98–1,08	1,05–1,15
Стенокардия	1,05–1,28	1,36–1,52	0,96–1,11	1,03–1,19
ЦВБ	1,02–1,14	1,37–1,53	0,66–0,74	0,76–0,84
БСК	1,12–1,18	1,39–1,46	0,93–0,97	0,98–1,03
ХБ	0,98–1,32	0,97–1,31	0,96–1,18	1,04–1,29
ХОБЛ	1,31–1,89	1,62–2,28	0,72–0,99	0,8–1,08
БА	1,23–1,65	1,56–2,02	0,92–1,15	0,79–1,0
БОД	1,1–1,15	1,18–1,23	0,81–0,87	0,92–0,98

газообразного и жидкого топлива, отличающихся составом продуктов сгорания. Санитарное состояние атмосферного воздуха в зоне влияния выбросов многотопливной ТЭЦ зависит от изменений в топливном балансе предприятия. Так, увеличение доли твердого топлива (уголь, торф) сопровождается увеличением массы выбросов и ростом приземных концентраций пыли летучей золы и диоксида серы [5]. В зоне влияния можно выделить районы, статистически значимо отличающиеся по уровню расчетных долгопериодных приземных концентраций загрязнителей атмосферного воздуха, входящих в состав выбросов ТЭЦ. Увеличение концентраций пыли летучей золы, диоксида серы в зоне влияния сопровождается ростом заболеваемости населения болезнями системы кровообращения и органов дыхания. Показатели заболеваемости населения болезнями системы кровообращения, органов дыхания и относительного риска их развития у взрослого населения в зоне влияния многотопливной ТЭЦ зависят от характера топливного баланса, удаленности селитебной зоны от предприятия и повторяемости ветров в направлении от источника выбросов к жилым районам.

Нами установлено, что, несмотря на вариабельность соотношения видов топлива в балансе, можно выделить периоды, отличающиеся относительным постоянством топливного баланса. Сценарий топливного баланса, реализуемый в период 2001–2008 гг., характеризует общую тенденцию в отечественной энергетике на тот период времени — преобладание газового топлива в топливном балансе городских теплоэнергетических комплексов. Газообразное топливо представляет собой наиболее «чистое» органическое топливо, так как при его полном сгорании из токсичных веществ образуются только оксиды азота. Исследованиями в Москве, Воронеже, Великом Новгороде, Вельске и Нижнем Новгороде доказано, что переход с использования угля на использование природного газа улучшает качество атмосферного воздуха городской среды и снижает риск для здоровья населения [9].

Сценарий, реализуемый в период 2009–2015 гг., отличается увеличением доли твердого топлива

в топливном балансе, что согласуется с планами Энергетической стратегии России и отражает современную тенденцию в направлении устранения «газового перекося» и увеличения доли угля и торфа в топливном балансе предприятий теплоэнергетики. Вместе с тем увеличение доли твердого топлива в отсутствие модернизации существующего оборудования неизбежно приведет к увеличению объема выбросов пыли летучей золы и диоксида серы [4]. По мнению ряда авторов, быстрое увеличение доли угля в энергобалансе России при условии его сжигания на уже существующем сильно изношенном оборудовании представляет серьезную опасность для здоровья населения [10]. Экологические последствия таких решений и их возможные последствия для здоровья населения наиболее детально описаны в исследовании, выполненном в Великом Новгороде: в случае увеличения доли угля в энергобалансе городских ТЭЦ риски воздействия загрязненного атмосферного воздуха резко увеличиваются. Дополнительная смертность населения, вызванная воздействием мелкодисперсных частиц и выбросами диоксида серы, может возрасти почти в 2 раза; увеличение заболеваемости нижних дыхательных путей — в 3 раза, бронхитом — на 15 %, дополнительное число приступов бронхиальной астмы от выбросов вырастет на 35 %; дополнительный канцерогенный риск от выбросов сажи — на 30 % [4].

Выполненное в нашем исследовании гигиеническое районирование зоны влияния атмосферных выбросов ТЭЦ позволило выделить территории, статистически значимо отличающиеся по расчетной приземной концентрации компонентов выбросов ТЭЦ, первичной заболеваемости и распространенности болезней системы кровообращения и органов дыхания. Установлено, что уровень распространенности БСК и БОД более чувствителен к изменениям в топливном балансе, чем первичная заболеваемость. Учитывая возможность влияния многофакторного воздействия городской среды и проявления кофактинг-эффекта, выполнен расчет относительного риска при сравнении показателей первичной заболеваемости и распространенности БСК и БОД в выделенных районах зоны влияния выбросов ТЭЦ со средним уровнем данных показателей по г. Кирову. Отмечено, что максимальные полученные значения относительного риска наблюдаются для населения жилых районов, расположенных вблизи санитарно-защитной зоны ТЭЦ с наибольшей повторяемостью ветров со стороны предприятия теплоэнергетики.

Выполненные в России и за рубежом исследования показывают, что в районах размещения угольных тепловых электростанций наблюдается повышенный уровень заболеваемости цереброваскулярной болезнью, ишемической болезнью сердца, бронхитами, бронхиальной астмой, хронической обструктивной болезнью легких [2, 6, 11]. Эколого-эпидемиологическими исследованиями определены различные группы характеристик, которые могут привести к повышенному риску здоровью населения при воздей-

ствии взвешенных частиц, диоксида серы и оксидов азота [7, 12, 14, 20]. К числу таких характеристик относятся вещественный состав взвешенных частиц, территориальная близость проживания населения к источникам загрязнения атмосферного воздуха, вредные привычки, стадии жизни (например, дети и пожилые люди), предшествующие сердечно-сосудистые и респираторные заболевания, генетический полиморфизм и низкий социально-экономический статус [3, 8, 15, 16, 18, 19].

Таким образом, анализ уровня первичной заболеваемости и распространенности болезней системы кровообращения и органов дыхания в зоне влияния атмосферных выбросов многотопливной ТЭЦ показал, что величина данных показателей может определяться влиянием следующих факторов: доли твердого топлива в топливном балансе предприятия, удаленности от источника выбросов и повторяемости ветров от ТЭЦ в направлении селитебных зон. Последние два фактора являются практически постоянными, так как определяются географическим положением жилых районов относительно ТЭЦ, в то время как соотношение видов топлива в топливном балансе может варьировать исходя из экономических, логистических и иных соображений. Изменение топливного баланса в сторону увеличения доли твердого топлива приводит к увеличению объема выбросов твердых частиц и диоксида серы, что способствует повышению уровня риска здоровью населения, проживающего в зоне влияния атмосферных выбросов многотопливного предприятия теплоэнергетики. Особо следует выделить селитебные зоны, находящиеся непосредственно в районе размещения ТЭЦ — вблизи границ санитарно-защитной зоны по направлению господствующих ветров, так как уровень заболеваемости и относительный риск развития болезней системы кровообращения и органов дыхания в данных жилых районах статистически значимо выше, чем в зоне влияния в целом. Принятие управленческих решений по расширению многотопливных теплоэнергетических комплексов и изменению в топливном балансе в обязательном порядке должно сопровождаться оценкой риска для здоровья населения и, если необходимо, мероприятиями по снижению рисков до допустимого уровня.

Авторство

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 «Изменения климата и здоровье населения России в XXI веке» (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. Коробицын А. А., Банникова Р. В., Гудков А. Б., Вязьмин А. М., Шихова В. А. Медико-экологические аспекты образа жизни северян // Экология человека. 1999. № 2. С. 46–49.

4. Крылов Д. А., Путинцева В. П. Оценки выбросов в атмосферу SO_2 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.

5. 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.

6. Мирзакаримова М. А., Искандарова Ш. Т. Гигиеническая оценка комбинированного действия загрязнений в атмосферном воздухе населенных мест // Гигиена и санитария. 2008. № 4. С. 10–12.

7. Мироновская А. В., Бузинов Р. В., Гудков А. Б. Прогнозная оценка неотложной сердечно-сосудистой патологии у населения северной урбанизированной территории // Здравоохранение Российской Федерации. 2011. № 5. С. 66–67.

8. Селюнина С. В., Петров Б. А., Цапков П. И. Заболеваемость населения, проживающего в зонах влияния атмосферных выбросов городских предприятий теплоэнергетики // Вятский медицинский вестник. 2005. № 2. С. 64–67.

9. Ревич Б. А. К оценке влияния деятельности ТЭК на качество окружающей среды и здоровье населения // Проблемы прогнозирования. 2010. № 4. С. 87–99.

10. Резинских В. Ф., Гринь Е. А. Надежность и безопасность ТЭС России на современном этапе: проблемы и перспективные задачи // Теплотехника. 2010. № 1. С. 2–9.

11. 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.

12. 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.

13. Халафян А. А. Современные статистические методы медицинских исследований. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. 320 с.

14. 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.

15. Чащин В. П., Ковшов А. А., Гудков А. Б., Моргунов Б. А. Социально-экономические и поведенческие факторы риска нарушений здоровья среди коренного населения Крайнего Севера // Экология человека. 2016. № 6. С. 3–8.

16. Brunekreef B. Air pollution and health // Lancet. 2002. N 10. Vol. 360. P. 1233–1242.

17. Lawson A. B., Browne W. J., Vidal Rodeiro C. L. Disease mapping with WinBugs and MLwiN // John Wiley and Sons. 2003. P. 277.

18. 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. С. 459–466.

19. 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.

20. 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. Health and demographic evaluation of the benefits of reducing greenhouse gas emissions. In: *Sbornik materialov mezhdunarodnogo seminara «Izmeneniya klimata i zdorov'e naseleniya Rossii v XXI veke» (5-6 aprelya 2004 g.)* [Proceedings of the international seminar "Climate change and the health of the population of Russia in the XXI century" (5-6 April 2004)]. Moscow, 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. Korobitsin A. A., Bannikova R. V., Gudkov A. B., Vyazmin A. M., Shikhova V. A. Medico-ecological aspects of the Northerners' way of life. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 1999, 2, pp. 46-49. [In Russian]

4. 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]

5. 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]

6. 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]

7. Mironovskaya A. V., Buzinov R. V., Gudkov A. B. Prognostic evaluation of urgent cardiovascular disease in the population of a northern urbanized area. *Zdravookhranenie Rossiiskoi Federatsii* [Public Health of the Russian Federation]. 2011, 5, pp. 66-67. [In Russian]

8. Selyunina S. V., Petrov B. A., Tsapok P. I. Morbidity of the population living in zones of influence of atmospheric emissions of the city coal powerplants. *Vyatskii meditsinskii vestnik* [Medical Newsletter of Vyatka]. 2005, 2, pp. 64-67. [In Russian]

9. Revich B. A. To assess the impact of the energy sector on the quality of the environment and public health. *Problemy prognozirovaniya* [Problems of forecasting]. 2010, 4, pp. 87-99. [In Russian]

10. 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]

11. 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]

12. Ungurjanu 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]

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

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

15. Chashchin V. P., Kovshov A. A., Gudkov A. B., Morgunov B. A. Socioeconomic and behavioral risk factors of disabilities among the indigenous population in the far north. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2016, 6, pp. 3-8. [In Russian]

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

17. Lawson A. B., Browne W. J., Vidal Rodeiro C. L. *Disease mapping with WinBugs and MLwiN.* John Wiley and Sons, 2003, p. 277.

18. 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.

19. 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.

20. 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, 34, iss. 5-6, p. 138.

Контактная информация:

Петров Сергей Борисович — кандидат медицинских наук, доцент, заведующий кафедрой гигиены ГБОУ ВО Кировский ГМУ Минздрава России

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

E-mail: sbpetrov@mail.ru