



ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

ENVIRONMENTAL MONITORING

DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-2-184-197

EDN: XPZVPD

УДК 504.3.054

Научная статья / Research article

Оценка загрязнения атмосферного воздуха продуктами сгорания угля и мазута на примере квартальных котельных г. Улан-Удэ

О.Н. Чудинова¹, Т.В. Чередова²,
А.А. Бутакова¹, А.П. Беспрозванных³

¹Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления,
Улан-Удэ, Российская Федерация

²Геологический институт им. Н.Л. Добрецова СО РАН, Улан-Удэ, Российская Федерация

³«Улан-Удэнский энергетический комплекс» филиал ПАО «ТГК-14»,
Улан-Удэ, Российская Федерация

chudinova1980@inbox.ru

Аннотация. Улан-Удэ ежегодно входит в приоритетный список городов с наибольшим уровнем загрязнения атмосферного воздуха. Основными стационарными источниками выбросов загрязняющих веществ в атмосферу г. Улан-Удэ являются предприятия теплоэнергетики. Их вклад в общее загрязнение атмосферы города стационарными источниками составляет около 45 %. В качестве топлива используются каменный и бурый уголь, мазут. Целью исследования было изучение влияния различных видов топлива на загрязнение атмосферного воздуха по результатам расчетного моделирования и экспериментальной оценки качества снежного покрова. Объектами исследования являлись квартальные котельные, расположенные в г. Улан-Удэ (пос. Аэропорт, пос. Стеклозавод). Расчетное моделирование проведено с использованием Унифицированной программы расчета загрязнения атмосферы «Web-Призма-предприятие». Анализ микроэлементного состава талой снеговой воды выполнен методом индуктивно-связанной

© Чудинова О.Н., Чередова Т.В., Бутакова А.А., Беспрозванных А.П., 2024



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

плазмы на квадрупольном масс-спектрометре Agilent 7500ce. Результаты рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере показали превышение расчетных приземных концентраций при сжигании угля по твердым и газообразным веществам по сравнению с аналогичными концентрациями, создаваемыми при сжигании мазута, в 2,45–141,4 раза. По экспериментальным исследованиям снежного покрова, напротив, котельная, работающая на мазуте, вносит больший вклад в загрязнение ($Z_c = 1563,80$ – очень высокий уровень загрязнения) по сравнению с котельной, использующей в качестве топлива уголь ($Z_c = 107,61$ – средний уровень загрязнения). Причинами такого расхождения могут являться несовершенства методики расчета выбросов загрязняющих веществ в атмосферу: нормированию подлежат твердые частицы (угольная или мазутная зола) без учета их химического состава; алгоритм рассеивания выбросов не учитывает плотность застройки вокруг источника выбросов в атмосфере.

Ключевые слова: котельная, загрязнение атмосферы, уголь, мазут, рассеивание загрязняющих веществ, снежный покров

Вклад авторов. Чудинова О.Н. – концепция исследования, планирование экспериментальной части, обзор литературы, обобщение результатов исследования, общая научная редакция; Чередова Т.В. – обработка, анализ и интерпретация результатов анализа элементного состава жидкой фазы снега; Бутакова А.А. – проведение расчетов рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере, их обработка и интерпретация; Беспрозванных А.П. – отбор проб снега, подготовка проб к лабораторному анализу.

История статьи: поступила в редакцию 10.11.2023; доработана после рецензирования 10.01.2024; принята к публикации 12.02.2024.

Для цитирования: Чудинова О.Н., Чередова Т.В., Бутакова А.А., Беспрозванных А.П. Оценка загрязнения атмосферного воздуха продуктами сгорания угля и мазута на примере квартальных котельных г. Улан-Удэ // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2024. Т. 32. № 2. С. 184–197. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-2-184-197>

Assessment of atmospheric air pollution by coal and fuel oil combustion products and fuel oil on the example of neighborhood boiler plants in Ulan-Ude

Olga N. Chudinova¹  , Tatyana V. Cheredova² ,
Anna A. Butakova¹ , Aleksey P. Besprozvannykh³ 

¹East Siberia State University of Technology and Management, Ulan-Ude, Russian Federation

²Dobretsov Geological Institute of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences,
Ulan-Ude, Russian Federation

³«Ulan-Ude Energy Complex», branch of PJSC «TGC-14», Ulan-Ude, Russian Federation
chudinova1980@inbox.ru

Abstract. The city of Ulan-Ude is annually included in the priority list of cities with the highest level of atmospheric air pollution. The main stationary sources of pollutant emissions into the atmosphere of Ulan-Ude are heat and power enterprises. Their contribution to the total air pollution of the city by stationary sources is about 45%. As fuel they use hard and brown coal and fuel oil. The purpose of the presented work was to study the influence of different types of fuel on atmospheric air pollution based on the results of computational modeling and

experimental assessment of snow cover quality. The objects of the study were neighborhood boiler plants located in Ulan-Ude (Airport settlement, Glass Factory settlement). The computational modeling was carried out using the Unified program of atmospheric pollution calculation “Web-Prisma-Enterprise”. Analysis of microelement composition of melted snow water was performed by inductively coupled plasma method on Agilent 7500ce quadrupole mass spectrometer. The results of pollutant dispersion in the atmosphere showed an excess of the calculated surface concentrations at coal combustion for solid and gaseous substances compared to similar concentrations produced at fuel oil combustion by 2.45–141.4 times. In contrast, according to the experimental snow cover studies, the fuel oil-fired boiler plant contributes more pollution ($Z_c = 1563.80$ – very high pollution level) compared to the boiler plant using coal as fuel ($Z_c = 107.61$ – average pollution level). The reasons for this discrepancy may be imperfections in the methodology of calculating emissions of pollutants into the atmosphere: particulate matter (coal or fuel oil ash) is subject to regulation without taking into account their chemical composition; the algorithm of dispersion of emissions does not take into account the density of buildings around the source of emissions into the atmosphere.

Keywords: boiler house, atmospheric pollution, coal, fuel oil, dispersion of pollutants, snow cover

Authors’ contributions. *Chudinova O.N.* – research concept, planning of the experimental part, literature review, generalization of the research results, general scientific editing; *Cheredova T.V.* – processing, analysis and interpretation of the results of the analysis of the elemental composition of the liquid phase of snow; *Butakova A.A.* – carrying out calculations of pollutant dispersion in the atmosphere, their processing and interpretation; *Besprozvannykh A.P.* – snow sampling, preparation of samples for laboratory analysis.

Article history: received 10.11.2023; revised 10.01.2024; accepted 12.02.2024.

For citation: Chudinova ON, Cheredova TV, Butakova AA, Besprozvannykh AP. Assessment of atmospheric air pollution by coal and fuel oil combustion products and fuel oil on the example of neighborhood boiler plants in Ulan-Ude. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2024;32(2):184–197. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-2-184-197>

Введение

На протяжении ряда лет г. Улан-Удэ, расположенный в границах Байкальской природной территории, входит в приоритетный список городов с наибольшим уровнем загрязнения атмосферного воздуха. По данным мониторинга атмосферного воздуха Бурятского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, среднегодовая концентрация бенз(а)пирена в 2022 г. составила 8,7 ПДК, по взвешенным веществам РМ10 – 1,48 ПДК, взвешенным веществам РМ2,5 – 1,68 ПДК, фенолу – 1,33 ПДК¹.

Основными стационарными источниками выбросов загрязняющих веществ в атмосферу г. Улан-Удэ являются предприятия теплоэнергетики: «Генерация Бурятии» ПАО «ТГК-14» (ТЭЦ-1, ТЭЦ-2), «Улан-Удэнский энергетический комплекс» ПАО «ТГК-14», на балансе которого находятся

¹ Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды Республики Бурятия в 2022 году».

33 котельные, работающие на угле, мазуте и электричестве. Вклад объектов теплоэнергетики в общее загрязнение атмосферы города стационарными источниками составляет около 45 %.

Для оценки загрязнения атмосферного воздуха в зимний период многими учеными [1-3] предлагается использовать снежный покров, который является хорошей депонирующей средой для различного вида загрязнителей. Исследования снежного покрова являются актуальными для определения химического состава выбросов загрязняющих веществ в атмосферу различными источниками, изучения процессов их распределения по территории и осадения.

Целью представленной работы было изучение влияния различного вида топлива на загрязнение атмосферного воздуха по результатам расчетного моделирования и экспериментальной оценки качества снежного покрова.

Объекты и методы исследования

В качестве объектов исследования были выбраны две близкие по мощности квартальные котельные г. Улан-Удэ, работающие на разных видах топлива: котельные пос. Аэропорт и пос. Стеклозавод. При подборе исследуемых объектов одним из критериев выбора являлось отсутствие рядом прочих стационарных источников загрязнения атмосферы с наветренной стороны, а также удаленность от транспортных магистралей. Котельная пос. Аэропорт мощностью 16,245 Гкал/ч расположена в юго-западной части г. Улан-Удэ. Ближайшая жилая застройка находится на расстоянии 12 м в северо-восточном направлении от котельной. В качестве топлива используется уголь, общий расход которого составляет 33 тыс. т/год. Выброс загрязняющих веществ в атмосферу осуществляется через трубу высотой 30 м диаметром 1,5 м. В качестве пылегазоочистного оборудования установлены батарейные циклоны БЦ-2-7*(5+3) с эффективностью очистки 85,47–88,03 % (3 шт.) и циклон ЦН-11-02 с эффективностью очистки 81,07 % (1 шт.). Котельная пос. Стеклозавод мощностью 11,943 Гкал/ч расположена в северо-западной части г. Улан-Удэ, обеспечивает теплом и горячей водой одноименный жилой микрорайон. Ближайшие жилые дома находятся на расстоянии 109 м в северном направлении от котельной. В качестве топлива используется мазут, годовой расход которого составляет 8,48 тыс. т. Выброс загрязняющих веществ в атмосферу осуществляется через трубу высотой 45 м, диаметром 1,0 м. Пылегазоочистное оборудование отсутствует. Обе рассматриваемые котельные относятся к III категории объектов негативного воздействия на окружающую среду².

² Постановление Правительства РФ от 31.12.2020 № 2398 «Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий».

Для получения информации о возможных максимальных концентрациях загрязняющих веществ в атмосферном воздухе при сжигании топлива проведены расчеты рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере от источников выбросов с использованием Унифицированной программы расчета загрязнения атмосферы «Web-Призма-предприятие», согласованной в соответствии с приказом Минприроды России³ и реализующей методику разработки (расчета) и установления нормативов допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух⁴.

Данные о метеорологическом режиме местности, метеорологические характеристики и коэффициенты, необходимые для проведения расчетов загрязнения атмосферы (значение коэффициента стратификации атмосферы, средняя максимальная температура наружного воздуха наиболее жаркого месяца года, средняя температура наружного воздуха за самый холодный период, скорость ветра u^* (м/с), повторяемость превышения которой по средним многолетним данным составляет не более 5 %), приняты по данным Бурятского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

Расчеты полей приземных концентраций загрязняющих веществ проведены в соответствии с методами расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) в атмосферном воздухе⁵ в условном расчетном прямоугольнике 600×600 м с шагом расчетной сетки 50×50 м.

Пробы снега в зоне воздействия рассматриваемых котельных отбирались в конце периода снегонакопления в соответствии с Методическими рекомендациями⁶ из шурфов на всю мощность снежного покрова, за исключением пятисантиметрового слоя над почвой, для избежания загрязнения проб литогенной составляющей во время формирования снегового покрова. При отборе проб снега измеряли площадь и глубину шурфа. Вес каждой пробы – около 10 кг. Для исследования были отобраны по 5 проб в зоне возможного воздействия каждой котельной: 4 пробы – вокруг каждой котельной (по румбам) на расстоянии от 50 до 150 м от границы объекта, пятая проба – на границе ближайшей жилой застройки. В качестве фоновой была отобрана проба в лесном массиве пригорода г. Улан-Удэ, где отсутствуют антропогенные источники загрязнения.

³ Приказ Минприроды России от 20.11.2019 № 779 «Об утверждении порядка проведения экспертизы программы для электронных вычислительных машин, используемой для расчетов рассеивания выбросов загрязняющих веществ в атмосферном воздухе (за исключением выбросов радиоактивных веществ)».

⁴ Приказ Минприроды России от 11.08.2020 № 581 «Об утверждении методики разработки (расчета) и установления нормативов допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух».

⁵ Приказ Минприроды России от 06.06.2017 № 273 «Об утверждении методов расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе».

⁶ Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве (утв. главным государственным санитарным врачом СССР от 15.05.1990 № 5174-90).

Анализ микроэлементного состава талой снеговой воды выполнен методом индуктивно-связанной плазмы на квадрупольном масс-спектрометре Agilent 7500 се в Лимнологическом институте СО РАН (г. Иркутск) согласно методике [4].

Для оценки степени загрязнения снегового покрова были выбраны геохимические показатели, учитывающие распределение как отдельных элементов, участвующих в загрязнении, так и их ассоциаций, связанных с полиэлементностью химического состава техногенных потоков. К ним относятся коэффициент концентрации химических элементов (K_c) и суммарный показатель загрязнения (Z_c). Расчет K_c и Z_c был проведен в соответствии с методическими рекомендациями⁷ по формулам (1, 2):

$$K_c = \frac{C_i}{C_\phi}, \quad (1)$$

где K_c – коэффициент концентрации i -го вещества;

C_i – концентрация i -го элемента в исследуемой среде, мг/л;

C_ϕ – фоновая концентрация i -го элемента, мг/л;

$$Z_c = \sum_{i=1}^n (K_{ci} - (n - 1)), \quad (2)$$

где n – количество исследуемых элементов.

По показателю Z_c выделяют четыре уровня загрязнения снегового покрова: низкий ($Z_c = 32$ – 64), средний ($Z_c = 64$ – 128), высокий ($Z_c = 128$ – 256), очень высокий ($Z_c > 256$).

Обсуждение и результаты

Состав выбросов загрязняющих веществ на предприятиях теплоэнергетики зависит от крупности (для твердого топлива), влажности, зольности, химического состава топлива, который, в свою очередь, связан с месторождением углеводородного сырья. На предприятиях теплоэнергетики Республики Бурятия используется, как правило, каменный уголь Тугнуйского месторождения, бурый уголь Бородинского, Загустайского, Окино-Ключевского, Гусиноозерского, Дабан-Горхонского месторождений [5; 6]. Отличительной особенностью вышеперечисленных углей является повышенная зольность, достигающая 22 % [7–11].

Согласно утвержденной методике нормирования⁴ выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, при сжигании угля в атмосферный воздух с дымовыми газами поступают бенз(а)пирен, зола угольная (пыль неорганическая, содержащая 70–20 % двуокиси кремния), углерод черный, азота диоксид, азота оксид, серы диоксид, углерода оксид. При сжигании малосернистого

⁷ Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве (утв. главным государственным санитарным врачом СССР от 15.05.1990 № 5174-90).

мазута в атмосферный воздух поступают бенз(а)пирен, мазутная зола теплоэлектростанций, углерод черный, азота диоксид, азота оксид, серы диоксид, углерода оксид.

По результатам проведенных расчетов приземных концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе выявлено неравномерное распространение полей данных концентраций. Распределение расчетных концентраций на примере твердых веществ представлено на рис. 1–3.

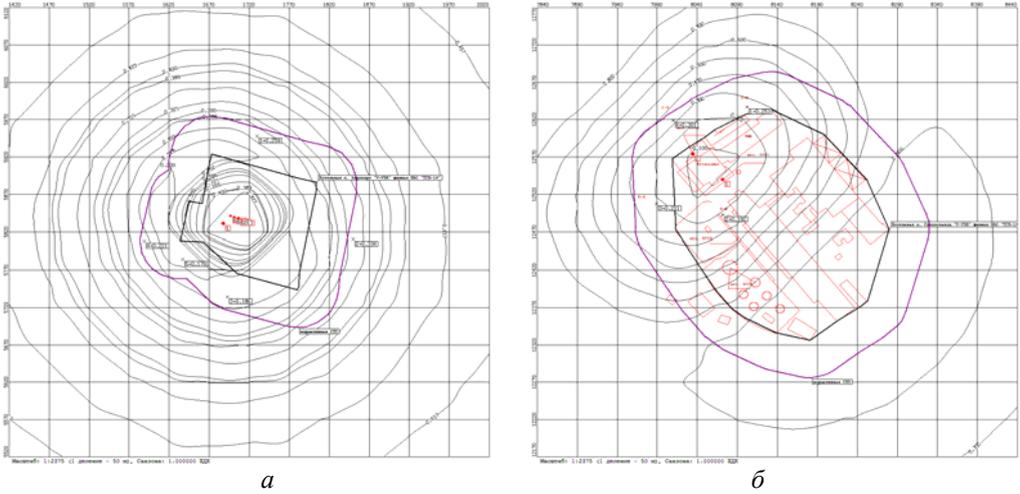


Рис. 1. Расчетные концентрации золы:

а – котельная пос. Аэропорт (зола угольная); *б* – котельная пос. Стеклозавод (зола мазутная)
Источник: составлено авторами

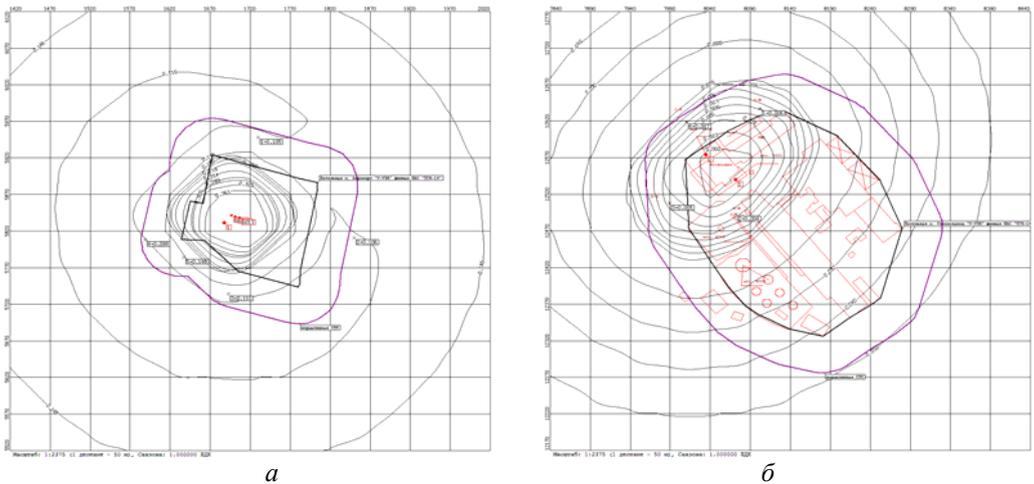


Рис. 2. Расчетные концентрации углерода черного:

а – котельная пос. Аэропорт; *б* – котельная пос. Стеклозавод
Источник: составлено авторами

Концентрация угольной золы от котельной пос. Аэропорт изменяется от 0,0538 до 0,1002 мг/м³ (среднее содержание составляет 0,0707 мг/м³). Поля концентраций угольной золы с максимальными показателями сосредоточены в восточной части от котельной, максимум составил 0,333 ПДК. Значения

выявленных концентраций мазутной золы теплоэлектростанций в атмосферном воздухе от котельной пос. Стеклозавод изменяются в диапазоне от 0,0003 до 0,0006 мг/м³ (среднее содержание – 0,0005 мг/м³). Поля концентраций данного вещества с максимальными показателями сосредоточены в северо-западной части от котельной, максимум составил 0,301 ПДК.

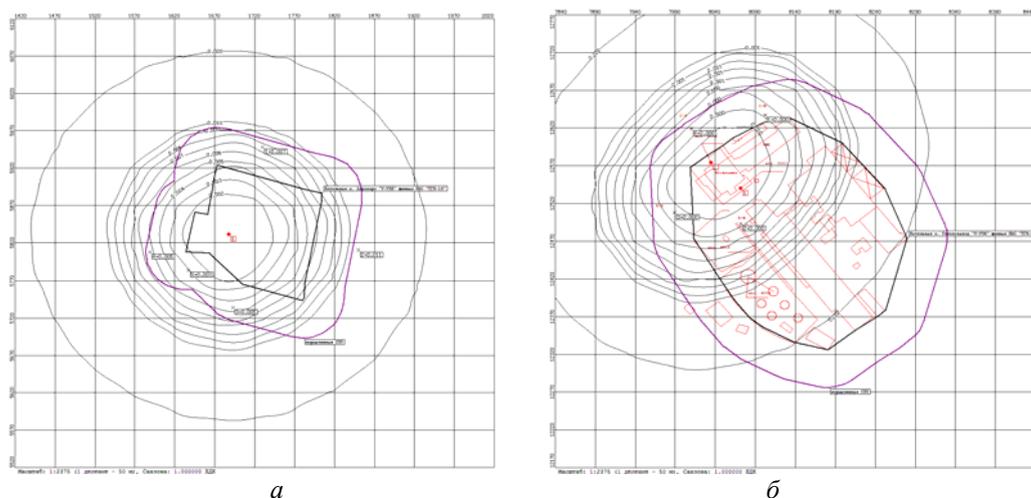


Рис. 3. Расчетные концентрации бенз(а)пирена:
 а – котельная пос. Аэропорт; б – котельная пос. Стеклозавод
 Источник: составлено авторами

Значения концентрации углерода черного (сажи) в атмосферном воздухе от котельной пос. Стеклозавод колеблются в диапазоне от 0,0006 до 0,0009 мг/м³ (среднее значение – 0,0008 мг/м³), от котельной пос. Аэропорт – от 0,0149 до 0,0222 мг/м³ (среднее значение – 0,0171 мг/м³). Поля концентраций углерода черного с максимальными показателями сосредоточены от котельной пос. Стеклозавод в северо-западной части, а от котельной п. Аэропорт – в юго-западной части (максимум – 0,148 ПДК). Средняя расчетная концентрация данного вещества от котельной пос. Аэропорт превышает аналогичную от пос. Стеклозавод в 21,38 раза.

Значения концентраций бенз(а)пирена в атмосферном воздухе от котельной пос. Стеклозавод изменяются от $2,209 \times 10^{-9}$ до $3,331 \times 10^{-9}$ мг/м³ (среднее значение – $2,718 \times 10^{-9}$ мг/м³), от котельной пос. Аэропорт – от $2,601 \times 10^{-8}$ до $1,124 \times 10^{-7}$ мг/м³ (среднее значение – $6,199 \times 10^{-8}$ мг/м³). Средняя расчетная концентрация бенз(а)пирена от котельной пос. Аэропорт превышает аналогичную от пос. Стеклозавод в 22,81 раза.

Анализ расчетных концентраций газообразных веществ, выбрасываемых в атмосферных воздух исследуемыми объектами (табл. 1), показал, что по всем веществам средние значения концентраций, создаваемых в атмосфере при сжигании угля, выше концентраций, образующихся при сжигании мазута: по диоксиду азота – в 4,06 раза, оксиду азота – в 4,07 раза, диоксиду серы – в 2,45 раза, оксиду углерода – в 20,23 раза.

Таблица 1. Расчетные концентрации газообразных веществ, создаваемые выбросами в атмосферу при сжигании различного топлива

Наименование исследуемого объ-екта	Расчетная концентрация газообразных веществ, мг/м ³			
	NO ₂	NO	SO ₂	CO
Котельная пос. Аэропорт (вид топлива – уголь)	<u>0.0049–0.0215</u> 0,0119	<u>0.0008–0.0035</u> 0,0019	<u>0.0165–0.0712</u> 0,0392	<u>0.0284–0.1229</u> 0,0678
Котельная пос. Стеклозавод (вид топлива – мазут)	<u>0.0024–0.0036</u> 0,0029	<u>0.0004–0.0005</u> 0,00047	<u>0.0128–0.0200</u> 0,0160	<u>0.0026–0.0041</u> 0,0034

Примечание. В числителе приведен диапазон расчетных концентраций, в знаменателе – среднее значение.

Источник: составлено авторами.

Для изучения воздействия загрязнения атмосферы предприятиями теплоэнергетики проведены исследования элементного состава снежного покрова. При установлении перечня анализируемых показателей элементного состава снеговой воды были использованы сведения о химическом составе исходного топлива.

Согласно отчету по инвентаризации в котельной пос. Аэропорт используется каменный уголь марки ДР Тугнуйского месторождения, бурый уголь марки 2 БПКО Бородинского месторождения. Петрографический состав представлен в основном витринитом (84 %), семивитринитом (2 %), липтинитом (1 %), инертинитом (5 %). Усредненный элементный состав угля в рабочем состоянии включает в себя макроэлементы: С, Н, N, O, P, Cl, As, F и микроэлементы: Zn, Cr, Co, Ni, Mn, Mo, Cu, Ba, Sr. Химический состав летучей золы угля представляет собой смесь оксидов литофильных (Si, Al, Ca, Mg, Ti, P, Na, K), халькофильных (S) и сидерофильных (Fe) элементов (по классификации В.М. Гольдшмидта). Летучая зола углей содержит в себе также редкоземельные металлы. Согласно исследованиям [12], содержание редкоземельных элементов в летучей золе может составлять (г/т): Y – 37,4, La – 53,5, Ce – 141,8, Pr – 9,7, Nd – 42,8, Sm – 9,9, Eu – 1,4, Gd – 9,7, Tb – 1,31, Dy – 8,2, Ho – 1,66, Er – 5,4, Yb – 4,2. Также в летучей золе обнаружены Sr – 2176 г/т, Hf – 6,6 г/т.

Наибольшее распространение среди жидких видов топлива на предприятиях теплоэнергетики г. Улан-Удэ, включая котельную пос. Стеклозавод, получил мазут малосернистый марки М-100. Макроэлементный состав мазута западно-сибирского месторождения [13] включает в себя С (87,4 %), Н (8,8 %), S (2,51 %), N (0,1 %), O (1,5 %). Химический состав зольных остатков, образующихся при сжигании мазута М-100 [14], состоит преимущественно из Fe – 63 %, V – 18,4 %, S – 11,5 %, Ni – 5,9 %, Ca – 0,7 %, Zn – 0,2 %, Mo – 0,2 %.

Таким образом, перечень контролируемых показателей для анализа составил 36 элементов: P, Cl, As, Zn, Cr, Co, Ni, Mn, Mo, Cu, Ba, Sr, Si, Al, Ca, Mg, Ti, Na, K, S, Fe, Y, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Yb, Hf, V.

Основываясь на потенциальной повышенной радиоактивности углеводородного сырья, подтвержденной рядом исследований [15–17], к перечню контролируемых показателей был добавлен U (табл. 2).

Таблица 2. Характеристика снегового покрова в районе исследуемых объектов

Элемент	Фоновая концентрация C_0 , мкг/л	Котельная пос. Аэропорт		Котельная пос. Стеклозавод	
		Диапазоны концентраций в снеговой воде, мкг/л	Коэффициент концентрации $K_{C(макс)}$	Диапазоны концентраций в снеговой воде, мкг/л	Коэффициент концентрации $K_{C(макс)}$
Na	450	1550–1820	4,04	1190–1740	3,87
Mg	230	1390–2100	9,13	590–1710	7,43
Al	12,7	12,4–37	2,91	36–1560	122,83
Si	200	1040–1290	6,45	230–520	2,60
P	30	27–29	0,97	10,5–18,7	0,62
S	770	3600–5300	6,88	4400–17800	23,12
Cl	950	1630–1730	1,82	950–1830	1,93
K	350	600–870	2,49	610–3700	10,57
Ca	2100	10400–15400	7,33	4400–10900	5,19
Ti	0,74	0,31–0,51	0,69	0,42–0,85	1,15
V	0,56	3,2–3,7	6,61	5,5–16,4	29,29
Cr	0,16	0,13–0,18	1,13	0,2–2,8	17,50
Mn	8,6	0,89–0,97	0,11	59–122	14,19
Fe	24	14,1–23	0,96	28–1800	75,00
Co	0,116	0,066–0,089	0,77	0,76–2,9	25,00
Ni	0,32	0,42–0,56	1,75	20–148	462,50
Cu	1,61	0,19–1,4	0,87	1,11–4,4	2,73
Zn	17,5	8,1–17,2	0,98	22–64	3,66
As	0,33	3,1–3,5	10,61	0,32–0,62	1,88
Sr	11,9	200–320	26,89	41–97	8,15
Y	0,016	0,01–0,024	1,50	0,015–0,73	45,63
Mo	0,88	2,2–3,4	3,86	0,54–1,04	1,18
Ba	9,2	39–48	5,22	29–62	6,74
La	0,011	0,0058–0,013	1,18	0,012–1,9	172,73
Ce	0,018	0,0028–0,018	1,00	0,018–1,65	91,67
Pr	0,0024	0,0007–0,0024	1,00	0,0027–0,159	66,25
Nd	0,006	0,0009–0,008	1,33	0,008–0,52	86,67
Sm	0,007	0,007–0,019	2,71	0,006–0,12	17,14
Eu	0,0005	0,0035–0,0037	7,40	0,0016–0,022	44,00
Gd	0,0024	0,00019–0,0026	1,08	0,0022–0,111	46,25
Tb	0,0005	0,00015–0,0005	1,00	0,0006–0,017	34,00
Dy	0,0016	0,00039–0,0024	1,50	0,0023–0,09	56,25
Ho	0,0009	0,00019–0,0005	0,56	0,0008–0,018	20,00
Er	0,0014	0,00029–0,0013	0,93	0,0018–0,056	40,00
Yb	0,0012	0,0005–0,0012	1,00	0,002–0,042	35,00
Hf	0,0009	0,0011–0,0013	1,44	0,0007–0,0036	4,00
U	0,01	0,063–0,175	17,50	0,025–0,131	13,10
Суммарный показатель загрязнения Z_c		107,61 / средний		1563,80 / очень высокий	

Источник: составлено авторами.

Результаты расчетов показали, что выбросы котельных оказывают значительное влияние на химический состав снежного покрова. При этом котельная пос. Стеклозавод вносит больший вклад в загрязнение по сравнению с

котельной пос. Аэропорт, что подтверждается суммарным показателем загрязнения снегового покрова, который составил для котельной п. Стеклозавод $Z_c = 1563,80$ (очень высокий уровень загрязнения), для котельной пос. Аэропорт – $Z_c = 107,61$ (средний уровень загрязнения). Высокая степень загрязнения снега вокруг котельной пос. Стеклозавод может быть объяснена рядом причин: во-первых, в котельной не установлено пылегазоочистное оборудование, что способствует выбросу загрязняющих веществ в атмосферу без предварительной очистки; во-вторых, мазут является одним из «грязных» видов топлива с точки зрения образования продуктов сгорания без специальной его подготовки перед сжиганием, что подтверждено некоторыми работами [18; 19]; в-третьих, плотная застройка вокруг котельной препятствует рассеиванию загрязняющих веществ, что не учитывается при расчетном моделировании. Среди элементов, концентрации которых максимально превышают фоновые показатели при сжигании мазута, следует выделить Al ($K_c = 122,83$), S ($K_c = 23,12$), V ($K_c = 29,29$), тяжелые металлы: Ni ($K_c = 462,50$), Fe ($K_c = 75,00$), Co ($K_c = 25,0$), Cr ($K_c = 17,50$), Mn ($K_c = 14,19$), Zn ($K_c = 3,66$), Cu ($K_c = 2,73$), группу редкоземельных элементов ($K_c = 172,73$ по La).

Коэффициенты концентрации большинства элементов снегового покрова, отобранного вокруг котельной пос. Аэропорт, работающей на угле, варьируются в относительно узком диапазоне: от 1,13 (для Cr) до 9,13 (для Mg). Аномально высокие концентрации наблюдаются для As ($K_c=10,61$), Sr ($K_c = 26,89$). Данные элементы относятся к примесным элементам углей. Содержание стронция в углях [20] достигает для бурых углей (г/т): 120 ± 10 (уголь) и 740 ± 70 (зола); для каменных: 100 ± 7 (уголь), 730 ± 50 (зола). На околоскладском фоне выделяются угли с повышенными средними содержаниями Sr, составляющими 240-320 г/т. При сжигании углей на ТЭЦ содержащийся в них мышьяк образует ортоарсенаты, летящие с дымовыми газами и частично оседающие на частицах летучей золы [21]. Незначительные коэффициенты концентраций химических элементов в снеговом покрове вокруг данной котельной могут быть связаны с благоприятными орографическими условиями местности, способствующими рассеиванию загрязняющих веществ в атмосфере.

Снег вокруг обеих котельных содержит высокие значения U: на котельной пос. Стеклозавод превышение над фоном составляет 13,1 раза, на котельной пос. Аэропорт – 17,5 раза.

Заключение

Результаты рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере от квартальных котельных г. Улан-Удэ, работающих на твердом и жидком топливе, выявили, что расчетные приземные концентрации по твердым и газообразным веществам, создаваемые в атмосфере при сжигании угля, превышают аналогичные концентрации, создаваемые при сжигании мазута, в 2,45

(диоксид серы) – 141,4 (зола) раза. Однако экспериментальное исследование элементного состава жидкой фазы снега, отобранного в тех же точках, где проводилось расчетное моделирование загрязнения, показало обратную картину: котельная пос. Стеклозавод, работающая на мазуте, вносит больший вклад в загрязнение ($Z_c = 1563,80$ – очень высокий уровень загрязнения) по сравнению с котельной пос. Аэропорт, использующей в качестве топлива уголь ($Z_c = 107,61$ – средний уровень загрязнения). Причинами такого расхождения могут являться несовершенства методики расчета выбросов загрязняющих веществ в атмосферу: нормированию подлежат твердые частицы (угольная или мазутная зола) без учета их химического состава; алгоритм рассеивания выбросов не учитывает плотность застройки вокруг источника выбросов в атмосферу.

Проведенные исследования показали, что для оценки качества атмосферного воздуха недостаточно применения только расчетных методов определения концентраций загрязняющих веществ в атмосфере. В дополнение к расчетам необходимо проводить лабораторные исследования химического состава атмосферного воздуха и снежного покрова в зоне влияния источников загрязнения.

Список литературы

- [1] Язиков Е.Г., Таловская А.В., Жорняк Л.В. Оценка эколого-геохимического состояния территории г. Томска по данным изучения пылеаэрозолей и почв: монография. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. 264 с.
- [2] Мищенко О.А., Шелганова А.А. Мониторинг состояния снежного покрова на территории Хабаровского края // Отходы и ресурсы. 2022. Т. 9, № 3. С. 1–10. <https://doi.org/10.15862/11ECOR322>.
- [3] Саев Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 335 с.
- [4] Чебыкин Е.П., Сороковикова Л.М., Томберг И.В. Современное состояние вод р. Селенги на территории России по главным компонентам и следовым элементам // Химия в интересах устойчивого развития. 2012. Т. 20, № 5. С. 613–631.
- [5] Куклина М.В., Баяскаланова Т.А., Богданов В.Н., Уразова Н.Г. Перспективы использования малых угольных разрезов Республики Бурятия // Фундаментальные исследования. 2018. № 4. С. 98–103.
- [6] Вязова Н.Г., Шаулина Л.П., Шмидт А.Ф., Димова Л.М. Микроэлементы в углях Восточной Сибири // Химия твердого топлива. 2016. № 5. С. 45–55. <https://doi.org/10.7868/S0023117716050091>
- [7] Такайшвили, Л.Н., Агафонов Г.В. Тенденции и перспективы использования энергетических углей Восточной Сибири // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2022. Т. 333, № 3. С. 15–28. <https://doi.org/10.18799/24131830/2022/3/3598>
- [8] Сидорова Г.П., Якимов А.А., Овчаренко Н.В., Гущина Т.О. Редкие и рассеянные элементы в углях Забайкалья // Вестник Забайкальского государственного университета. 2019. Т. 25, № 2. С. 26–33. <https://doi.org/10.21209/2227-9245-2019-25-2-26-33>
- [9] Сидорова Г.П., Чуркин А.А. Качество бурых углей Окино-Ключевского месторождения // Вестник ЗабГУ. 2011. № 6. С. 104–108.

- [10] Будаева А.Д., Золотов Е.В. Состав и свойства сорбентов, полученных из окисленных бурых углей Гусиноозерского месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2012. № 2. С. 122–125.
- [11] Такайшвили Л.Н., Агафонов Г.В. Перспективы разработки месторождений местных углей Восточной Сибири для нужд энергетики // Борисовские чтения: материалы III Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2021. С. 173–177.
- [12] Самбуева З.В., Грипак А.М. Состав, свойства и утилизация летучей золы энергетических углей // Современные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации: сборник статей XI Международной научно-практической конференции. Пенза: Наука и Просвещение, 2020. С. 18–22.
- [13] Липантьев Р.Е., Тутубалина В.П. Влияние элементного состава нефти различных месторождений на эксплуатационные свойства мазута // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2012. № 9–10. С. 52–56.
- [14] Зверева Э.Р., Шагеев М.Ф., Дмитриев А.В. Использование золошлаковых отходов, образующихся при сжигании мазутов на тепловых электрических станциях // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2018. Т. 10, № 1(37). С. 64–73.
- [15] Бабаев Б.Д., Волианик В.В. Сравнительная оценка экологического влияния разных систем энергоснабжения // Вестник Московского энергетического института. 2014. № 4. С. 29–32.
- [16] Pak Iu., Pak D., Nuguzhinov Zh., Tebaeva A. Natural radioactivity of coal in the context of radioecological safety and rational use // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2021. No. 1. P. 97–106. <https://doi.org/10.21440/0536-1028-2021-1-97-106>
- [17] Сидорова Г.П., Крылов Д.А. Радиоактивность углей и золошлаковых отходов угольных электростанций // Энергия: экономика, техника, экология. 2017. № 2. С. 21–26.
- [18] Котлер В.Р. Выбросы оксидов азота при совместном сжигании угля с газом или мазутом // Теплоэнергетика. 1996. № 5. С. 47–52.
- [19] Пиляева О.В., Шепелев И.И., Головных Н.В., Жуков Е.И. Снижение выбросов угарного газа в атмосферу при сжигании мазута в технологических теплоэнергетических установках // Экология и промышленность России. 2023. Т. 27, № 11. С. 4–8. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2023-11-4-8>
- [20] Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Ценные элементы-примеси в углях. Екатеринбург: УрО РАН, 2006. 538 с.
- [21] Авгушевич И.В., Сидорук Е.И., Броновец Т.М. Стандартные методы испытания углей. Классификации углей. М.: Реклама мастер, 2019. 576 с.

Сведения об авторах:

Чудинова Ольга Николаевна, кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры «Промышленная экология и защита в чрезвычайных ситуациях», Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, Российская Федерация, Республика Бурятия, 670013, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, д. 40В, стр. 4. ORCID: 0000-0003-4160-3062, eLIBRARY SPIN-код: 8879-9145. E-mail: chudinova1980@inbox.ru

Чередова Татьяна Викторовна, младший научный сотрудник, Геологический институт им. Н.Л. Добрецова Сибирского отделения Российской академии наук (ГИН СО РАН), Российская Федерация, Республика Бурятия, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, д. 6а. ORCID: 0000-0002-8832-7731, eLIBRARY SPIN-код: 8289-9649. E-mail: cheredova-tv@yandex.ru

Бутакова Анна Александровна, преподаватель, кафедры «Промышленная экология и защита в чрезвычайных ситуациях», Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, Российская Федерация, Республика Бурятия, 670013, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, д. 40В, стр. 4. ORCID: 0009-0002-7607-7023, eLIBRARY SPIN-код: 9798-9181. E-mail: environment03@mail.ru

Беспрозванных Алексей Павлович, специалист по охране труда 1 категории Службы охраны труда и производственного контроля «Улан-Удэнский энергетический комплекс» филиал Публичного Акционерного Общества «Территориальная генерирующая компания № 14», Российская Федерация, Республика Бурятия, 670045, г. Улан-Удэ, ул. Тракторная, д. 11Б. ORCID: 0009-0009-9840-3812, eLIBRARY SPIN-код: 4727-9228. E-mail: aleksey.dom.com@gmail.com