

DOI: 10.26730/1999-4125-2021-6-13-20

УДК 544.02+614.7

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ПЫЛИ МЕДИЦИНСКОГО УЧРЕЖДЕНИЯ

**Ефимова Ольга Сергеевна**<sup>1</sup>,  
к.х.н., заведующий лабораторией, e-mail: efimovaos@mail.ru  
**Малышева Валентина Юрьевна**<sup>1</sup>,  
ведущий инженер, e-mail: v23091@yandex.ru  
**Созинов Сергей Анатольевич**<sup>1</sup>,  
канд. физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: sozinov71@mail.ru  
**Исмагилов Зинфер Ришатович**<sup>1,2</sup>,  
академик РАН, заведующий кафедрой, e-mail: Zinfer1@mail.ru  
**Панина Лидия Васильевна**<sup>1</sup>,  
ведущий инженер, e-mail: lida1193@mail.ru

<sup>1</sup>Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН,  
650000, Россия, г. Кемерово, Советский пр.,18

<sup>2</sup>Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия,  
г. Кемерово, ул. Весенняя, 28



### **Информация о статье**

Поступила:  
29 октября 2021 г.

Рецензирование:  
30 ноября 2021 г.

Принята к печати:  
05 декабря 2021 г.

### **Ключевые слова:**

пылевое загрязнение,  
взвешенные частицы пыли,  
РМ, угольная  
промышленность,  
медицинская пыль, больничная  
пыль, вентиляционная пыль,  
электронная микроскопия,  
ИК-спектроскопия,  
химический состав,  
элементный анализ

### **Аннотация.**

Проблема связи экспозиции населения частицам пыли от угольной и углеперерабатывающей промышленности с риском развития сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ) чрезвычайно остра для Кемеровской области. Большинство многоцентровых эпидемиологических исследований, обосновывающих связь физико-химических свойств частиц пыли с развитием ССЗ, было выполнено в развитых странах, без учета географических, климатических, социоэкономических особенностей, а также промышленной ориентации регионов развивающихся стран. Установление подобных закономерностей способствует изучению популяционных взаимосвязей экспозиции частицам пыли с другими факторами риска ССЗ и механизмов их патогенного действия.

Цель проведенного исследования - изучение элементного состава пыли медицинского учреждения и сравнение ее с другими объектами.

Комплексом современных физико-химических методов (сканирующая электронная микроскопия, ИК-спектроскопия, высокотемпературное каталитическое окисление) изучен химический состав медицинской пыли и морфология ее поверхности.

**Для цитирования:** Ефимова О.С., Малышева В.Ю., Созинов С.А., Исмагилов З.Р., Панина Л.В. Исследование элементного состава пыли медицинского учреждения // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2021. – № 6 (148). – С. 13-20 – DOI: 10.26730/1999-4125-2021-6-13-20

### **Введение**

Проблема связи экспозиции населения частицам пыли от угольной и углеперерабатывающей промышленности с риском развития сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ) чрезвычайно остра для

Кемеровской области. Большинство многоцентровых эпидемиологических исследований, обосновывающих связи физико-химических свойств частиц пыли с развитием ССЗ, было выполнено в развитых странах, без учета географических, климатических, социоэкономических особенностей, а также промышленной ориентации регионов развивающихся стран. Установление подобных закономерностей способствует изучению популяционных взаимосвязей экспозиции частицам пыли с другими факторами риска ССЗ и механизмов их патогенного действия.

Взвешенные частицы (РМ) представляют собой широко распространенный загрязнитель атмосферного воздуха, включающий смесь твердых и жидких частиц, находящихся в воздухе во взвешенном состоянии и представляющий серьезную угрозу для здоровья человека и экосистем [1]. Наиболее распространенные химические компоненты РМ это сульфаты, нитраты, аммиак, ионы натрия, калия, кальция, магния и хлорид-ионы, органический и элементарный углерод, минералы земной коры, связанная частицами вода, металлы и полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) [2]. В составе РМ также встречаются биологические объекты, например, вирусы, бактерии, пыльца, белковые фрагменты и др. [3, 4].

В атмосферном воздухе угледобывающих регионов, подобных Кемеровской области, присутствует большое количество угольной пыли, которая образуется на всех этапах угледобычи и углепереработки. Это является одним из важных факторов, способствующих развитию генотоксических эффектов, при этом наибольшую опасность представляют мелкодисперсная пыль и наноразмерные частицы [5 - 7]. Мелкодисперсные частицы являются фактором риска развития заболеваний дыхательной и сердечно-сосудистой систем, описан патогенез повреждающего действия клеток наночастицами с последующим развитием системных реакций [8]. При исследовании влияния пылевого загрязнения различного характера на окружающую среду и здоровье человека важно рассмотреть особенности такого загрязнения в зависимости от его источника. Например, образование и свойства пыли в медицинской организации зависят как от загрязнений атмосферного воздуха, так и от характера применяемых медицинских технологий и материалов [9].

Проведение междисциплинарных исследований подобного рода с учетом различных особенностей (географических, климатических, социоэкономических и организации добычи и переработки угля), безусловно, помогло бы расшифровке как популяционных взаимосвязей экспозиции частицам пыли с другими факторами риска сердечно-сосудистых заболеваний, так и механизмов их действия на тканевом, клеточном, субклеточном и молекулярном уровнях. В перспективе это может привести к созданию персонализированной программы первичной и вторичной профилактики ССЗ с учетом уровня и продолжительности экспозиции и сопутствующих факторов риска.

Цель проведенного исследования - изучение элементного состава пыли медицинского учреждения и сравнение ее с другими объектами. В качестве исследуемого образца выбран образец пыли, отобранной в медицинском учреждении города Кемерово (Кемеровская область – Кузбасс).

#### *Экспериментальная часть*

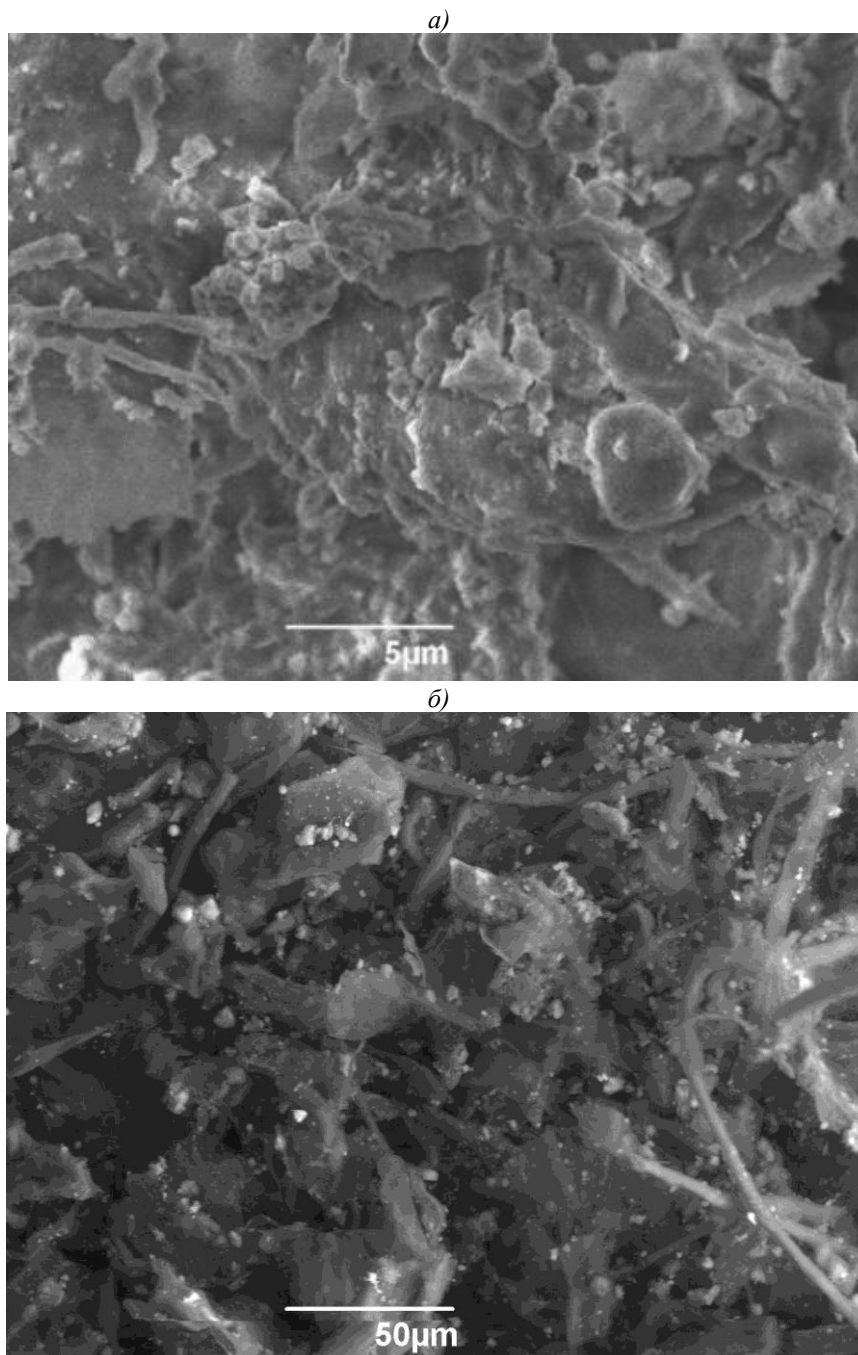
Пробы пыли медицинских учреждений были отобраны в стерильные емкости стерильной перчаткой с внутренней стороны вентиляционных решеток и непосредственно прилежащих к ним частей воздуховодов вытяжных вентиляционных систем медицинской организации города Кемерово (Кемеровская область – Кузбасс). В исследование включены пробы из взрослого отделения (образец 1).

Исследование формы, размерности и элементного состава частиц пыли проводили на сканирующем электронном микроскопе JEOL JSM-6390 LA (JEOL, Япония) с использованием рентгеноспектрального микроанализатора JED-2300 (JEOL, Япония). Частицы исследуемых объектов наносились на двусторонний углеродный скотч, приклеенный к алюминиевому предметному столику. Расчет процентного содержания каждого элемента в анализируемом веществе проводился по спектрам с помощью программного обеспечения Analysis Station версии 3.62.07 (JEOL Engineering, Япония) с использованием нестандартного метода ZAF согласно методике [10].

Инструментальное и одновременное определение содержания углерода, водорода, азота и серы проведено методом высокотемпературного каталитического окисления с использованием реактора с содержанием CuO/Cu на анализаторе Thermo Flash 2000 (производитель корпорация «Thermo Scientific», США). Инструментальное определение содержания кислорода проведено на то же анализаторе с использованием реактора, наполненного Ni/C.

Результаты элементного анализа позволяют устанавливать зависимости между содержанием углерода, водорода, кислорода и природой образца, установить его возможное происхождение и принадлежность к какому-либо классу высокомолекулярных соединений.

ИК-спектры образца регистрировали на ИК-Фурье-спектрометре «Инфралюм-ФТ-08» (производитель НПО «Люмекс», г. Санкт-Петербург) в диапазоне 370 – 4000 см<sup>-1</sup>, с разрешением спектра 4 см<sup>-1</sup>. Коррекцию базовой линии проводили в программе «СпектраЛюм», а обработку спектров в программе Origin 8.0. Образцы пыли были подготовлены в виде таблетки с бромидом калия (соотношение 1:50)



**Рис. 1.** СЭМ-изображения образца 1 в различном масштабе: а – 5 мкм, б – 50 мкм  
*Fig.1. SEM image of sample 1 at different scales: a - 5 microns, b - 50 microns*

прессованием при давлении 8 МПа в пресс-форме.

#### *Обсуждение результатов*

По данным сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) образец 1 представляет собой совокупность частиц округлой формы диаметром 1 – 4 мкм, и удлинённых волокнистых частиц длиной до 50 мкм, между которыми неравномерно диспергированы наиболее мелкие пылевые частицы размером до 1 мкм (рис. 1).

Химический состав образцов довольно сложный и представлен минеральной и органической частями: в образце 1 – 28,9 масс.% минеральной части и 71,1 масс.% органической.

По данным энергодисперсионного анализа (рис.2) поверхность образца 1 состоит преимущественно из углерода (57,6 масс. %) и кислорода (29,0 масс. %). В интервале содержания от 1 до 3 масс.% обнаружены элементы (в порядке убывания содержания) – Cl, Ca, Si, Na и Al, и в количестве менее 1

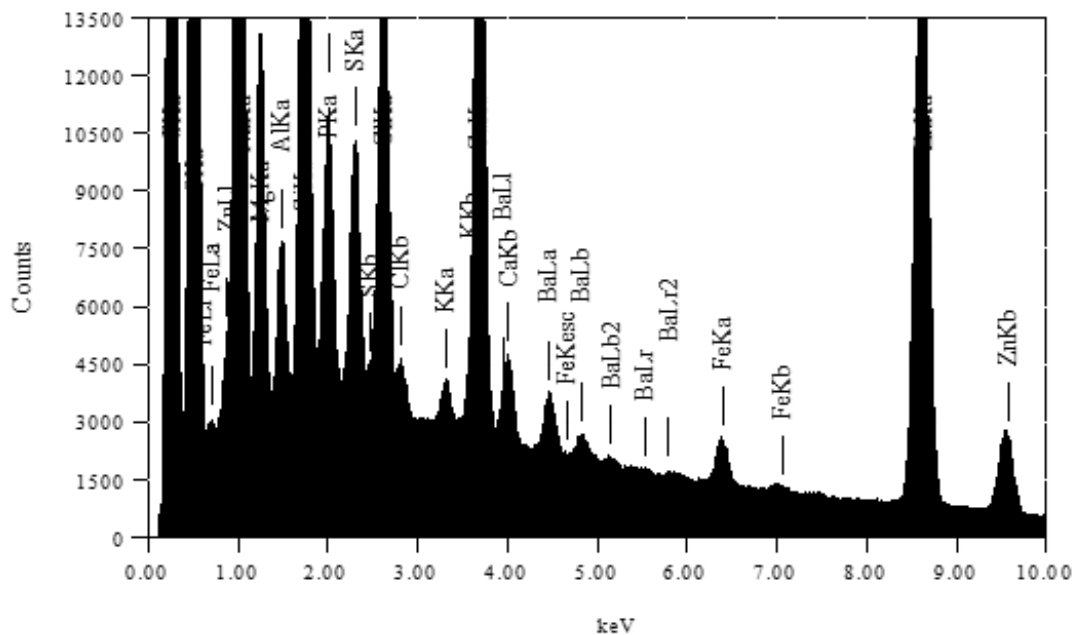


Рис. 2. Спектр характеристического рентгеновского излучения и состав поверхности участка  
Fig. 2. The spectrum of characteristic X-ray radiation and the composition of the surface of the sample

Таблица. Химический состав органической части образца  
Table. The chemical composition of the organic part of the sample

№	Элемент	Содержание, масс.%	
		Образец 1	Белок
1.	C	48,8 ± 0,9	50 - 55
2.	O	35,4 ± 1,2	21 - 23
3.	N	7,9 ± 0,3	15 - 17
4.	H	6,8 ± 0,3	6 - 7
5.	S	1,1 ± 0,1	0,3 - 2,5

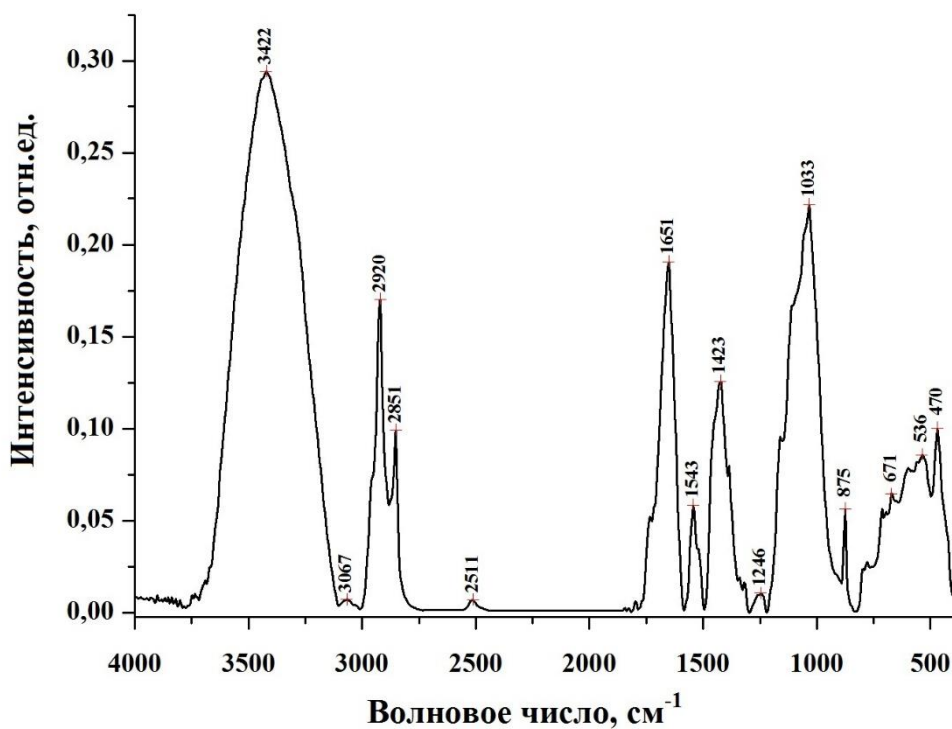


Рис. 3. ИК-Фурье - спектры образца 1  
Fig. 3. FTIR - spectra of sample 1

масс.% присутствуют К, S, Fe, P, Mg.

Углерод, определяемый методом высокотемпературного окисления, включает в себя органический и элементарный углерод, находящийся в атмосфере в виде взвешенных частиц, а также «живой» углерод, попавший в пыль медицинских учреждений в виде микроорганизмов и объектов жизнедеятельности человека [3,11].

ИК-спектр исследованного образца представлен на рисунке 3.

В спектрах наблюдаются полосы, характерные для колебаний связей кремния и алюминия в минеральных соединениях: Si–O в оксиде алюминия, Si–O–Si в силикатах, Al–O в оксиде алюминия; и органических (в частности, белков и полинуклеотидов): N–H, S–H и S–S в белках, CH<sub>2</sub> и CH<sub>3</sub> в алифатических соединениях, C=O в карбоксильной группе и др.

В ИК-спектре образца наблюдаются следующие полосы, см<sup>-1</sup>: 3422 валентные колебание O–H – группы, связанной водородной связью; 3067 валентное колебание N–H – группы в молекуле белков; 2920 валентное асимметричное колебание CH<sub>2</sub> – группы в алифатических соединениях; 2851 валентное симметричное колебание CH<sub>3</sub> – группы в алифатических соединениях; 2511 валентное колебания группы S–H в белках; 1735 валентное колебание C=O в карбоксильной группе; 1651 валентное колебание C=O и C–N в амидах; 1543 деформационное колебание группы N – H амидной группы; 1423 деформационное колебание CH<sub>2</sub> – групп в алифатических соединениях; 1246 валентное ассиметричное колебание связи P – O – R полинуклеотида; 1033 ассиметричное валентное колебание группы Si–O–Si в силикатах; 875 валентное колебание связи Al – O; 671 Валентное колебание связи P–O в PO<sub>4</sub> – группе полинуклеотида; 536 валентное колебание связи S–S в белковых структурах; 470 симметричные валентные колебания группы Si–O–Si в силикатах (рис. 3). Отнесение полос характеристичных колебаний в исследуемом образце предоставлены в соответствии с [12-15].

#### *Выводы*

1. Комплексом современных физико-химических методов (сканирующая электронная микроскопия, ИК-спектроскопия, высокотемпературное каталитическое окисление) изучен химический состав медицинской пыли и морфология ее поверхности.

2. При исследовании элементного состава установлено, что пыль медицинских учреждений состоит из органической и неорганической частей, является неоднородной, различается морфологией и химическим составом.

3. По данным энергодисперсионного анализа поверхность образца пыли состоит преимущественно из углерода (57,6 масс. %) и кислорода (29,0 масс. %). В интервале содержания от 1 до 3 масс.% обнаружены элементы (в порядке убывания содержания) – Cl, Ca, Si, Na и Al, и в количестве менее 1 масс.% присутствуют К, S, Fe, P, Mg.

4. Методом высокотемпературного каталитического окисления образца определено содержание углерода (~48,8 масс.%) и кислорода (~35,4 масс.%), а также водородом, азотом и серой.

5. Методом ИК-Фурье - спектроскопии показано наличие различных функциональных групп в образце пыли, а также сходство структуры пыли со структурой белка.

*Работа выполнена в рамках государственного задания Института углехимии и химического материаловедения ФИЦ УУХ СО РАН по проекту 121031500512-7.*

*Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП ФИЦ УУХ СО РАН.*

*Авторы выражают благодарность за предоставление образцов пыли сотрудникам Кемеровского государственного медицинского университета Брусниной Е.Б. и Шишкиной Е.А.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. - Geneva: World Health Organization; 2021. – P. 267.
2. Ивлев, Л.С. Химический состав и структура атмосферных аэрозолей. -Л.: изд-во Лениигр. ун-та, 1982. - 365 с.
3. Primary biological aerosol particles in the atmosphere: a review / R. D. Viviane [et al.]. - Tellus B: Chemical and Physical Meteorology, 2012. - V.64. – P. 15598.
4. Влияние мелкодисперсной пыли на биосферу и человека / С.З. Калаева [и др.]. - Известия ТулГУ. Науки о Земле, 2016. - № 3.- С. 40-63.
5. Effects on health of air pollution: a narrative review / P.M. Mannucci [et al.]// Intern Emerg Med, 2015. - V.10. - №6. – P.657-662.

6. The additional reservoir of hospital environment microorganisms at healthcare facilities / E.A. Chezganova [et al.] // *Journal of microbiology, epidemiology and immunobiology*, 2021. – V. 98. - № 3. - P. 266-275.
7. Ventilation-associated particulate matter is a potential reservoir of multidrug-resistant organisms in health facilities / E.A. Chezganova [et al.] // *Life*, 2021. - V. 11. - № 7. - P. 639.
8. Effect of Dust Pollution of Coal and Coal Chemical Industries on the Risk of Developing Heart Diseases / A.G. Kutikhin [et al.] // *Chemistry for sustainable development*, 2018. V.26. - № 6.- P.647-654.
9. Indoor air quality in two French hospitals: Measurement of chemical and microbiological contaminants / E. Baurès [et al.] // *Sci Total Environ*, 2018. - V. 642. - P. 168-179.
10. Chemical and Granulometric Composition of Coal Dust of a Mine Degassing Plant / O.S. Efimova [et al.] // *Chemistry for sustainable development*, 2018. - V.26. - № 6. - P.597-601.
11. Kim, K.H. A review on the human health impact of airborne particulate matter / K.H. Kim, E. Kabir, S. Kabir // *Environ Int*, 2015. - V.74. - P. 136–143.
12. Преч, Э. Определение строения органических соединений. Таблицы спектральных данных / Э. Преч, Ф. Бюльманн, К. Афвольтер. - М.: «Мир», «БИНОМ. Лаборатория знаний», 2012. – 438 с.
13. Sokrates, G. Infrared and Raman characteristic group frequencies: tables and charts. - Wiley, Chichester, 2004. – P. 347.
14. Chemical and granulometric composition of particles of solid atmospheric aerosol including black carbon in the snowpack on the territory of the industrial zone of Novokuznetsk city / N.V. Zhuravleva, E.R. Khabibulina, Z.R. Ismagilov, O.S. Efimova, A.A. Osokina, R.R. Potokina // *Chemistry for Sustainable Development*, 2016. - T. 24. - № 4. - P. 509-519.
15. Chemical and mineralogical analysis of individual mineral dust particles / A.H. Falkovich, E. Ganor, Z. Levin, P. Formenti, Y. Rudich // *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2001. – V. 106. – P. 18029-18036.

#### **Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© 2021 Авторы. Издательство Кузбасского государственного технического университета имени Т.Ф. Горбачева. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

**DOI: 10.26730/1999-4125-2021-6-13-20**

**UDS 544.02+614.7**

## **RESEARCH OF THE ELEMENTAL COMPOSITION OF DUST IN A MEDICAL INSTITUTION**

**Olga S. Efimova<sup>1</sup>**,

C. Sc. in Chemistry, Head of the Laboratory,

**Valentina Y. Malysheva<sup>1</sup>**,

Leading engineer,

**Sergey A. Sozinov<sup>1</sup>**,

C. Sc. in Physics and Mathematics, leading researcher,

**Zinifer R. Ismagilov<sup>1, 2</sup>**,

Academician of the Russian Academy of Sciences, Head of the Department,

**Lydia V. Panina<sup>1</sup>**,

Leading engineer

<sup>1</sup>Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry SB RAS,  
650000, Kemerovo, 18, pr. Sovetsky, Russian Federation

<sup>2</sup>T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28, Vesennyyaya St, Kemerovo, 650000, Russian Federation



#### Article info

Received:  
29 October 2021

Revised:  
30 November 2021

Accepted:  
05 December 2021

**Keywords:** dust pollution, suspended dust particles, PM, coal industry, medical dust, hospital dust, ventilation dust, electron microscopy, IR spectroscopy, chemical composition, elemental analysis.

#### Abstract.

The problem of the relationship between the exposure of the population to dust particles from the coal and coal-processing industries with the risk of developing cardiovascular diseases (CVD) is extremely acute for the Kemerovo region. Most of the multicenter epidemiological studies substantiating the relationship between the physicochemical properties of dust particles and the development of CVDs were carried out in developed countries, without taking into account the geographical, climatic, socioeconomic characteristics, as well as the industrial orientation of the regions of developing countries. The establishment of such patterns contributes to the study of population relationships between exposure to dust particles with other risk factors for CVD and the mechanisms of their pathogenic action. The purpose of this study is to study the elemental composition of the dust of a medical institution and compare it with other objects. A complex of modern physicochemical methods (scanning electron microscopy, IR spectroscopy, high-temperature catalytic oxidation) has been used to study the chemical composition of medical dust and the morphology of its surface.

**For citation** Efimova O.S., Malysheva V.Y., Sozinov S.A., Ismagilov Z.R., Panina L.V. Research of the elemental composition of dust in a medical institution. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*, 2021, no.6 (148), pp. 13-20. DOI: 10.26730/1999-4125-2021-6-13-20

## REFERENCES

1. WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Geneva: World Health Organization. 2021. P. 267.
2. Ivlev, L.S. Khimicheskiy sostav i struktura atmosferykh aerozoley [Chemical composition and structure of atmospheric aerosols]. -L.: izd-vo Lenigr. un-ta [publishing house Lenigr. University]. 1982. - 365 P.
3. Primary biologic al aerosol particles in the atmosphere: a review / R. D. Viviane [et al.]. *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*. 2012. Vol.64. P. 15598.
4. Vliyanie melkodispersnoy pyli na biosferu i cheloveka [Influence of fine dust on the biosphere and humans]. *Izvestiya TulGU. Nauki o Zemle [Bulletin of TulSU. Earth Sciences]*. 2016. No. 3. P. 40-63.
5. Effects on health of air pollution: a narrative review / P.M. Mannucci [et al.] // *Intern Emerg Med*. 2015. Vol.10, No. 6. P.657-662.
6. The additional reservoir of hospital environment microorganisms at healthcare facilities / E.A. Chezganova [et al.] // *Journal of microbiology, epidemiology and immunobiology*.2021. Vol. 98, No. 3. P. 266-275.
7. Ventilation-associated particulate matter is a potential reservoir of multidrug-resistant organisms in health facilities / E.A. Chezganova [et al.] // *Life*. 2021. Vol. 11, No. 7. P. 639.
8. Effect of Dust Pollution of Coal and Coal Chemical Industries on the Risk of Developing Heart Diseases / A.G. Kutikhin [et al.] // *Chemistry for sustainable development*. 2018. Vol. 26, No. 6. P.647-654.
9. Indoor air quality in two French hospitals: Measurement of chemical and microbiological contaminants / E. Baurès [et al.] // *Sci Total Environ*. 2018. Vol. 642. P. 168-179.
10. Chemical and Granulometric Composition of Coal Dust of a Mine Degassing Plant / O.S. Efimova [et al.] // *Chemistry for sustainable development*. 2018. Vol.26, No. 6. P.597-601.
11. Kim, K.H. A review on the human health impact of airborne particulate matter / K.H. Kim, E. Kabir, S. Kabir // *Environ Int*. 2015. Vol.74. P. 136-143.
12. Prech, E. Opredelenie stroeniya organicheskikh soedineniy. Tablitsy spektral'nykh dannykh [Determination of the structure of organic compounds. Spectral data tables] / E. Prech, F. Byul'mann, K. Affol'ter. «BINOM. Laboratoriya znaniy» [BINOM. Knowledge laboratory]. 2012. P. 438.
13. Sokrates G. Infrared and Raman characteristic group frequencies: tables and charts. - Wiley, Chichester. 2004. 347 P.
14. Chemical and granulometric composition of particles of solid atmospheric aerosol including black carbon in the snowpack on the territory of the industrial zone of Novokuznetsk city / N.V. Zhuravleva, E.R. Khabibulina, Z.R. Ismagilov, O.S. Efimova, A.A. Osokina, R.R. Potokina // *Chemistry for Sustainable Development*. 2016. Vol. 24, No. 4. P. 509-519.
15. Chemical and mineralogical analysis of individual mineral dust particles / A.H. Falkovich, E. Ganor, Z. Levin, P.

Formenti, Y. Rudich // Journal of Geophysical Research: Atmospheres. 2001. Vol. 106. P. 18029-18036.

### **Conflicts of Interest**

The authors declare no conflict of interest.

© 2021 The Authors. Published by T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).