



Рафиков С.Ш.<sup>1</sup>, Сулейманов Р.А.<sup>1</sup>, Семенова И.Н.<sup>2,3</sup>, Рафикова Ю.С.<sup>3</sup>,  
Валеев Т.К.<sup>1</sup>, Рахматуллин Н.Р.<sup>1</sup>, Рахматуллина Л.Р.<sup>1</sup>

## Особенности химического состава мелкодисперсных взвешенных частиц в атмосферном воздухе селитебно-промышленных зон города Сибая Республики Башкортостан

<sup>1</sup>ФБУН «Уфимский научно-исследовательский институт медицины труда и экологии человека», 450106, Уфа, Россия;

<sup>2</sup>Сибайский институт (филиал) ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий», 453837, Сибай, Россия;

<sup>3</sup>ГБУЗ Республики Башкортостан «Центральная городская больница города Сибай», 453837, Сибай, Россия

### РЕЗЮМЕ

**Введение.** Атмосферные взвеси как негативный фактор среды обитания могут представлять значительную опасность в зависимости от размеров частиц, морфометрических и физико-химических характеристик.

**Цель работы** — исследовать и оценить элементный состав мелкодисперсных взвешенных частиц в атмосферном воздухе селитебно-промышленных зон горнорудного центра Башкирского Зауралья — города Сибая.

**Материалы и методы.** Пробы воздуха проводили на пяти территориях селитебно-промышленных зон Сибая с помощью автоматического трёхканального аспиратора воздуха АВА-3-240/180-01 на фильтры АФА-ВП-20. Микроскопирование образцов и определение элементного состава пылевых выбросов осуществляли в междисциплинарном центре «Аналитическая микроскопия» КФУ (Казань) на универсальном аналитическом комплексе сканирующей автоэмиссионной электронной микроскопии Merlin (Carl Zeiss).

**Результаты.** На электронных микрофотографиях идентифицированы частицы различных размеров, в основном округлой формы, с чёткими краями, расположенные одиночно. В автоматическом режиме обработки спектров проводили автораспознавание пиков элементов в спектре и их идентификацию. Основными химическими компонентами твёрдых частиц, встречающихся во всех точках отбора проб, являются углерод, кислород, кальций, железо, кремний, калий, алюминий, медь, сера, натрий и магний. Цинк присутствует в пыли, отобранной в трёх точках, скандий, титан, кобальт, барий и марганец — только в одной точке. Обсуждается возможность связи между содержанием мелкодисперсных частиц в воздухе и повышенной заболеваемостью населения Сибая сердечно-сосудистыми, бронхолёгочными болезнями, в том числе астмой.

**Ограничения исследования.** Изучение элементного состава мелкодисперсной пыли в Сибее проведено с использованием проб атмосферного воздуха, отобранных в пяти точках, находящихся в селитебно-промышленных зонах.

**Заключение.** Повышенное содержание мелкодисперсных частиц в атмосферном воздухе территории Сибая увеличивает риски возникновения болезней органов дыхания и сердечно-сосудистой системы, а также других отклонений в состоянии здоровья у населения, постоянно проживающего вблизи промышленных зон. Полученные данные о параметрах пылевых частиц являются основой для оценки долевого вклада промышленных предприятий в загрязнение воздуха и принятия управленческих решений по улучшению экологической ситуации в промышленном центре горнорудного региона.

**Ключевые слова:** загрязнение воздуха; взвешенные частицы; мелкодисперсные пыли; горнорудный регион; заболеваемость населения

**Соблюдение этических стандартов.** Исследование не требует представления заключения комитета по биомедицинской этике или иных документов.

**Для цитирования:** Рафиков С.Ш., Сулейманов Р.А., Семенова И.Н., Рафикова Ю.С., Валеев Т.К., Рахматуллин Н.Р., Рахматуллина Л.Р. Особенности химического состава мелкодисперсных взвешенных частиц в атмосферном воздухе селитебно-промышленных зон города Сибая Республики Башкортостан. *Гигиена и санитария*. 2024; 103(6): 533–540. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-6-533-540> <https://elibrary.ru/aulwya>

**Для корреспонденции:** Валеев Тимур Камилевич, ФБУН «Уфимский НИИ медицины труда и экологии человека», 450106, Уфа. E-mail: valeevtk2011@mail.ru

**Участие авторов:** Рафиков С.Ш. — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, написание текста, редактирование; Сулейманов Р.А. — концепция и дизайн исследования, обработка материала, редактирование; Семенова И.Н. — концепция и дизайн исследования, обработка материала, редактирование; Рафикова Ю.С. — концепция исследования, редактирование; Валеев Т.К. — редактирование; Рахматуллин Н.Р. — редактирование; Рахматуллина Л.Р. — редактирование. Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

Поступила: 10.06.2022 / Поступила после доработки: 06.10.2023 / Принята к печати: 19.06.2024 / Опубликована: 17.07.2024

Salavat Sh. Rafikov<sup>1</sup>, Rafail A. Suleimanov<sup>1</sup>, Irina N. Semenova<sup>2,3</sup>, Yulia S. Rafikova<sup>3</sup>, Timur K. Valeev<sup>1</sup>, Nail R. Rakhmatullin<sup>1</sup>, Liliana R. Rakhmatullina<sup>1</sup>

## Features of the chemical composition of fine suspended particles in the atmospheric air of residential and industrial zones of the city of Sibay, Republic of Bashkortostan

<sup>1</sup>Ufa Research Institute of Occupational Health and Human Ecology, Ufa, 450106, Russian Federation;

<sup>2</sup>Sibay Institute (branch) Ufa University of Sciences and Technologies, Republic of Bashkortostan, Sibay, 450106, Russian Federation;

<sup>3</sup>Republic of Bashkortostan Central City Hospital of Sibay, 453837, Sibay, Russian Federation

### ABSTRACT

**Introduction.** Atmospheric particulate matter as a negative environmental factor can be a significant hazard depending on their size, morphometric and physicochemical characteristics.

**The purpose of the study.** To investigate the elemental composition of finely dispersed suspended particles in the atmospheric air of the industrial zones of the mining center of the Bashkir Trans-Urals - the city of Sibay.

**Materials and methods.** Air sampling was carried out in the industrial area of Sibay using an AVA-3-240/180-01 automatic three-channel air aspirator with AFA-VP-20 filters. Microscopy of samples and determination of the elemental composition of dust emissions were carried out at the Interdisciplinary Center "Analytical Microscopy" of the Kazan Federal University (Kazan) on a universal analytical complex for scanning field emission electron microscopy Merlin (Carl Zeiss).

**Results.** On electron micrographs, there were identified particles of various sizes, mostly round in shape with clear edges, located solitary. In the automatic mode of processing the spectra, the peaks of the elements in the spectrum were automatically recognized and identified. In addition to carbon and oxygen, the calcium, iron, silicon, potassium, aluminium, copper, sulphur, sodium and magnesium are main chemical constituents of particulate matter encountered at all sampling points. Zinc was present in dust samples at three points, scandium, titanium, cobalt, barium, and manganese – only at one point. The possibility of the relation between the content of fine particles in the air and the increased incidence of cardiovascular, bronchopulmonary diseases, including asthma, in the population of Sibay is discussed.

**Limitations.** The study of the elemental composition of fine dust in the city of Sibay was carried out using atmospheric air samples taken at 5 points located in residential and industrial areas.

**Conclusion.** The increased content of fine particles in the atmospheric air of the city of Sibay increases the risks of respiratory and cardiovascular diseases, as well as other health abnormalities, in the population permanently residing near industrial zones. The obtained data on the parameters of dust particles are the basis for assessing the share contribution of industrial enterprises to air pollution and making management decisions to improve the environmental situation in the industrial center of the mining region.

**Keywords:** air pollution; particulate matter; fine dust; mining region; population morbidity

**Compliance with ethical standards.** The study does not require the submission of a biomedical ethics committee opinion or other documents.

**For citation:** Rafikov S.Sh., Suleimanov R.A., Semenova I.N., Rafikova Yu.S., Valeev T.K., Rakhmatullin N.R., Rakhmatullina L.R. Features of the chemical composition of fine suspended particles in the atmospheric air of residential and industrial zones of the city of Sibay, Republic of Bashkortostan. *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian journal*. 2024; 103(6): 533–540. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-6-533-540> <https://elibrary.ru/aulwya> (In Russ.)

**For correspondence:** Salavat Sh. Rafikov, graduate student, junior researcher, Dept. of medical ecology, Ufa Research Institute of Occupational Medicine and Human Ecology, Ufa, 450106, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-1690-3573> E-mail: raf\_777@mail.ru@mail.ru

**Contribution:** Rafikov S.Sh. – the concept and design of the study, collection and processing of material, writing a text; Suleimanov R.A. – the concept and design of the study, processing of material, writing a text; Semenova I.N. – the concept and design of the study, processing of material, writing a text; Rafikova Yu.S. – the concept of the study, writing a text; Valeev T.K., Rakhmatullin N.R., Rakhmatullina L.R. – writing a text; All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**Acknowledgement.** The study had no sponsorship.

Received: June 10, 2022/ Revised: October 6, 2023/ Accepted: June 19, 2024 / Published: July 17, 2024

## Введение

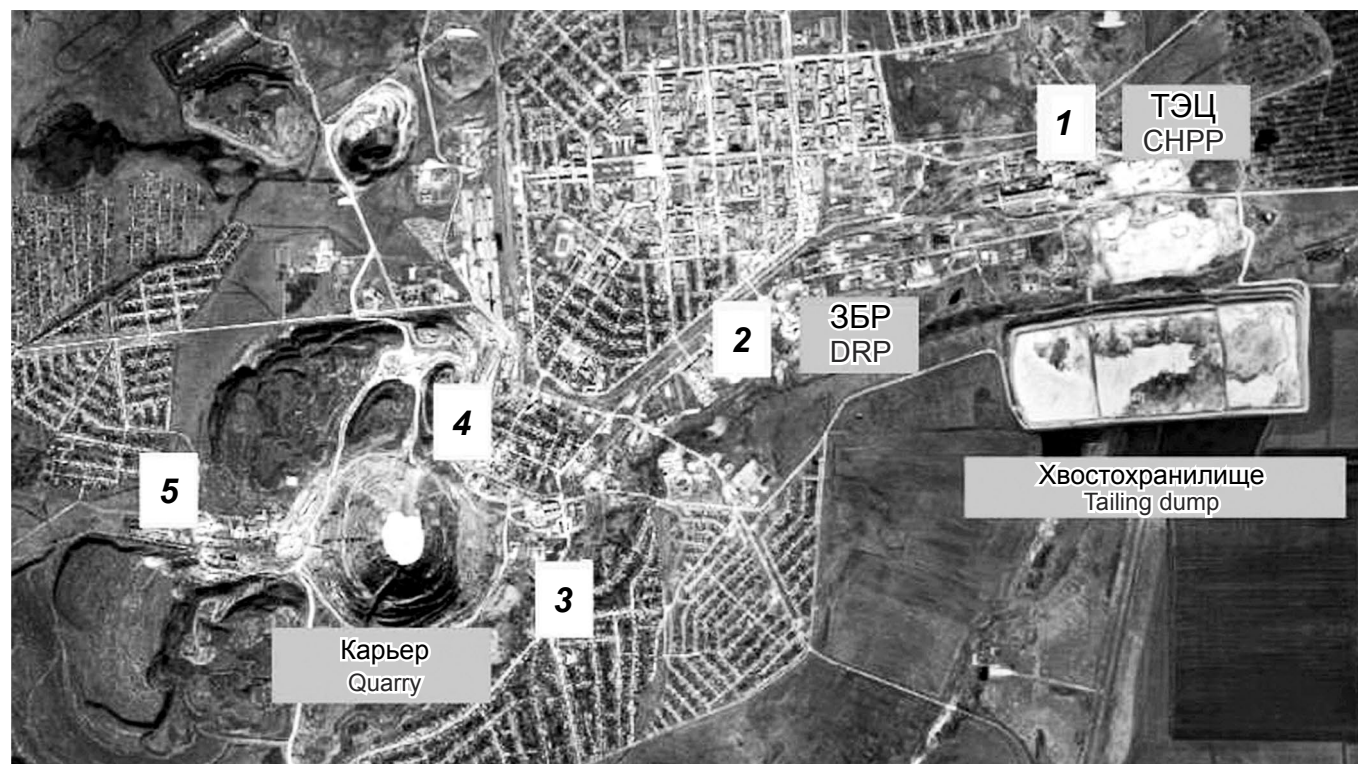
Загрязнение атмосферы – это важный фактор повышения преждевременной смертности во всём мире, особенно в развивающихся странах. Около 3 млн смертей ежегодно в мире связывают со взвешенными частицами (PM – particulate matter), которыми загрязняется атмосферный воздух [1–3].

В Российской Федерации (РФ) актуальность изучения частиц PM<sub>10</sub> и PM<sub>2,5</sub> определена в том числе гигиеническими нормативами, которые введены в действие в 2010 г., – ГН 2.1.6.2604–10 (доп. № 8 к ГН 2.1.6.1338–03 «Предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населённых мест»). В документе были указаны предельно допустимые концентрации (ПДК) мелких фракций взвешенных частиц. С марта 2021 г. вступили в силу новые СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания», в которых объединены действующие санитарные нормы и гигиенические нормативы.

Взвешенные частицы поступают в организм при дыхании, PM<sub>10</sub> могут накапливаться в тканях лёгких, а PM<sub>2,5</sub> способны проникать в бронхиолы, альвеолы и далее в кровотоки. Загрязнение воздуха этими частицами может приводить к развитию неинфекционных болезней дыхательной и сердечно-сосудистой систем [4–7].

Взвешенные мелкодисперсные частицы как негативный фактор среды обитания изучаются относительно недавно, поэтому систематические наблюдения размерного (гранулометрического), химического состава взвесей и их концентраций в городах РФ проводятся не повсеместно. Непрерывный мониторинг состава атмосферной взвеси проводится лишь в отдельных крупных городах, заповедниках и на техногенно загрязнённых территориях [8]. Так, по данным Росгидромета за 2020 г., в девяти городах на 14 станциях проводились наблюдения за концентрациями PM<sub>10</sub>. Наблюдения за PM<sub>2,5</sub> проводили в шести городах на девяти станциях [9].

Оценка возможного ущерба здоровью населения от кратковременного и хронического воздействия взвешенных веществ на территории Москвы, проведённая в ГУ НИИ ЭЧ



**Рис. 1.** Зоны отбора проб воздуха: **1** – Индустриальное шоссе, 30 (50 м в восточном направлении от Зауральской ТЭЦ); **2** – Восточное шоссе, 1/5 (50 м в западном направлении от Завода буровых реагентов (ЗБР)); **3** – ул. Горная, 6 (100 м в юго-восточном направлении от Сибайского карьера); **4** – ул. Нуриманова, 9/2 (50 м в северном направлении от Сибайского карьера); **5** – ул. Старательская, 2/1 (250 м в западном направлении от Сибайского карьера).

**Fig. 1.** Air sampling areas: **1** – Industrialnoye highway, 30 (50 m to the East from Zauralskaya CHPP); **2** – Vostochnoye highway, 1/5 (50 m to the West of the drilling reagents plant); **3** – Gornaya street, 6 (100 m to the Southeast of the Sibay quarry); **4** – Nurimanova street, 9/2 (50 m to the North of the Sibay quarry); **5** – Staratelskaya street, 2/1 (250 m to the West from the Sibay quarry).

и ГОС им. А.Н. Сысина РАМН и в отделе социально-гигиенического мониторинга ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в городе Москве», выявила превышение допустимых нормативов общих взвешенных веществ в 1,5–2 раза, что увеличивает вероятность развития выраженных эффектов в чувствительных подгруппах и даже у здоровых лиц [10].

По мнению некоторых исследователей, в населённых пунктах, которые по численности населения относятся к малым и средним городам, необходимо систематическое изучение содержания взвешенных частиц. Связана эта необходимость с тем, что в таких городах часто присутствуют градообразующие производства (металлургические, строительные, горнодобывающие), которые оказывают влияние на состояние среды обитания человека [11].

Значительное внимание должно быть уделено частицам пыли размером менее 10 мкм (включая  $PM_{2,5}$ ), так как они практически не подвергаются улавливанию пылеочистными установками и продолжительное время присутствуют в атмосфере населённых мест. Изучение дисперсного состава пыли позволяет оценить её возможное вредное действие на здоровье человека, эффективность эксплуатируемых пылеочистных устройств предприятий и обосновать основные приоритеты при осуществлении экологического и социально-гигиенического мониторинга.

Анализ литературных источников свидетельствует о негативном влиянии мелкодисперсной пыли – повышении заболеваемости и смертности населения. В то же время информация о безопасных уровнях экспозиции, обеспечивающих отсутствие отрицательного действия на организм человека, практически отсутствует, поэтому необходимо изучение состояния атмосферного воздуха для определения дисперсности и химического состава пыли на экологически неблагоприятных территориях.

Данная проблема актуальна и для Башкирского Зауралья, где сконцентрированы крупные центры добычи и переработки медно-колчеданных руд. Один из важных промышленных центров Республики Башкортостан (РБ), считающийся столицей Башкирского Зауралья, – город Сибай. Здесь расположен Сибайский филиал АО «Учалинский ГОК» (СФ УГОК). В состав основных источников загрязнения СФ УГОК входят обогатительная фабрика, подземные рудники, отвалы, хвостохранилище, Камаганский и Сибайский карьеры. Последний является одним из самых глубоких в мире с глубиной чаши более 500 м и диаметром 2 км. В городе функционируют газопоршневая электростанция (Зауральская ТЭЦ), Сибайский завод буровых реагентов, Филиал ООО «Газпром газораспределение Уфа» и другие предприятия. Экологическая обстановка формируется, с одной стороны, геохимическими природными условиями, с другой – воздействием горнодобывающих предприятий на окружающую среду [12].

В городе присутствуют экологически опасные производства, однако не проводится регулярный контроль качества атмосферного воздуха, в том числе для определения содержания мелкодисперсной пыли.

*Цель исследования* – изучить и оценить химический состав мелкодисперсных взвешенных частиц в атмосферном воздухе селитебно-промышленных зон Сибая.

## Материалы и методы

Пробоотбор воздуха проводили на пяти территориях промышленной и прилегающей к ней селитебных зон Сибая с учётом возможного поступления взвешенных частиц от промышленных предприятий (рис. 1).

Таблица 1 / Table 1

**Объёмы выбросов загрязняющих веществ в атмосферу Сибая. Усреднённые данные за 2011–2019 гг. (тыс. тонн) по данным Министерства природопользования и экологии РБ**

Volumes of emissions of pollutants into the atmosphere of the city of Sibay (averaged data for 2011–2019, thousand tons) according to the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Republic of Bashkortostan

Источник загрязнений Source of pollution	Среднее за 2011–2019 гг., тыс. тонн Average for 2011–2019, thousand tons	Объём выбросов, тыс. тонн Volume of emissions, thousand tons	
		минимальный minimum	максимальный maximum
Сибайский филиал АО «Учалинский ГОК» Sibai branch of JSC "Uchalinsky GOK"	0.506	0.195	0.598
АО «Сибайский горно-обогатительный комбинат» JSC Sibay Mining and Processing Plant	0.074	0.03	0.088
Зауральская ТЭЦ, ООО «Башкирская генерирующая компания» Zauralskaya CHPP, Bashkir Generating Company LLC	0.622	0.481	0.803
Филиал ООО «Газпром газораспределение Уфа» Branch of ООО «Gazprom Gas Distribution Ufa»	2.39	2.32	2.405
ООО «Битумойл» / «Bitumoil» LLC	0.059	0.054	0.07
ООО «Ремонтно-механический завод / LLC «Repair and Mechanical Plant»	0.04	0.04	0.04
Стационарные источники / Stationary sources	2.94	1.1	4.3
Транспортные средства / Vehicles	5.8	4.0	10.8
Всего по городу / Total over the city	8.2	1.6	13.6

Пробы отбирали с помощью автоматического трёхканального аспиратора воздуха АВА-3-240/180-01 (регистрационное удостоверение № ФС02262004/0609-04 от 16.09.2004 г.) на фильтры АФА-ВП-20. Отбор проб и измерения производили в соответствии с требованиями РД 52.04.186–89 «Руководство по контролю загрязнения атмосферы» (дата введения 07.01.1991 г.) и руководством по эксплуатации прибора. Продолжительность отбора составляла 30 минут, расход воздуха в канале – 40 дм<sup>3</sup>/мин.

Микроскопирование образцов и определение элементного состава пылевых выбросов проводили в междисциплинарном центре «Аналитическая микроскопия» КФУ (Казань) с использованием методов сканирующей электронной микроскопии и энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии на аналитическом комплексе автоэмиссионной сканирующей электронной микроскопии Merlin (Carl Zeiss).

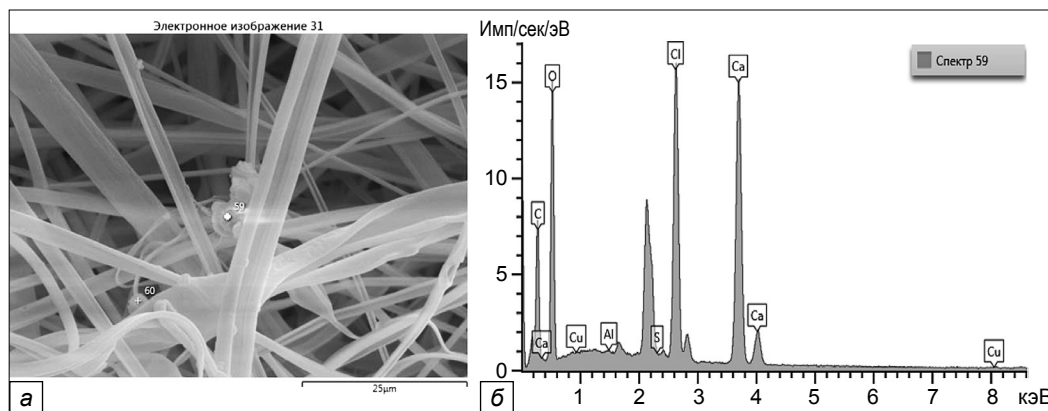
**Результаты**

В Сибее средний объём валовых выбросов от источников загрязнения атмосферного воздуха за период с 2011 по 2019 г. составил 8,2 тыс. тонн (табл. 1). Основными стационарными источниками загрязнения атмосферы являются Сибайский филиал АО «Учалинский ГОК» (0,506 тыс. тонн), Зауральская ТЭЦ ООО «Башкирская генерирующая компания» (0,622 тыс. тонн), филиал ООО «Газпром газораспределение Уфа» (2,39 тыс. тонн). Посты наблюдения за состоянием атмосферного воздуха в городе отсутствуют.

Основным направлением деятельности градообразующего предприятия СФ УГОК является добыча и обогащение медно-цинковых руд. Филиал «Газпром газораспределение Уфа» занимается преимущественно транспортировкой по газопроводам сетевого газа, строительством систем газоснабжения. Сибайский завод буровых реагентов выпускает реагенты для бурения нефти и газовых скважин, специальные добавки для строительных материалов, оказывает услуги по выпариванию и фасовке жидких химикатов. Зауральская ТЭЦ – основной источник электроэнергии для Башкирского Зауралья и тепла для Сибая, использующий в качестве топлива природный газ.

По данным государственного реестра объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду (Росприроднадзор), указанные предприятия являются источниками загрязнения атмосферного воздуха взвешенными веществами. Некоторые из предприятий также являются источниками неорганической пыли, содержащей двуокись кремния, абразивную пыль и др.

Исследования мелкодисперсной пыли на электронных микрофотографиях показали частицы различных размеров, в основном округлой формы, с четкими краями, расположенные одиночно (рис. 2–6). В автоматическом режиме проводили автораспознавание пиков элементов в спектре и их идентификацию. Во всех пробах можно увидеть выделяющийся спектр хлора, возможно, потому, что фильтрующий материал выполнен на основе перхлорвиниловых волокон.



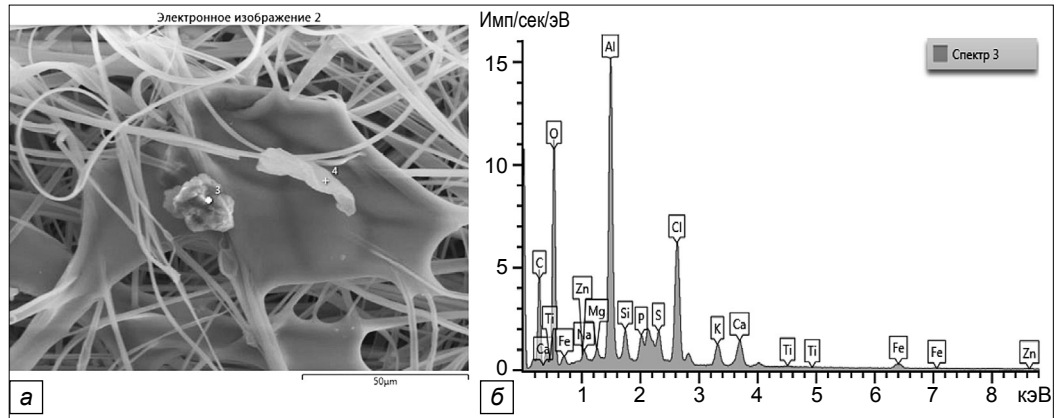
**Рис. 2.** Электронная фотография частиц (а) и спектрограмма (б) пыли в точке № 1 – Индустриальное шоссе, 30.

**Fig. 2.** Electron photograph of particles (a) and spectrogram (b) of the dust at point No. 1 – Industrialnoye highway, 30.



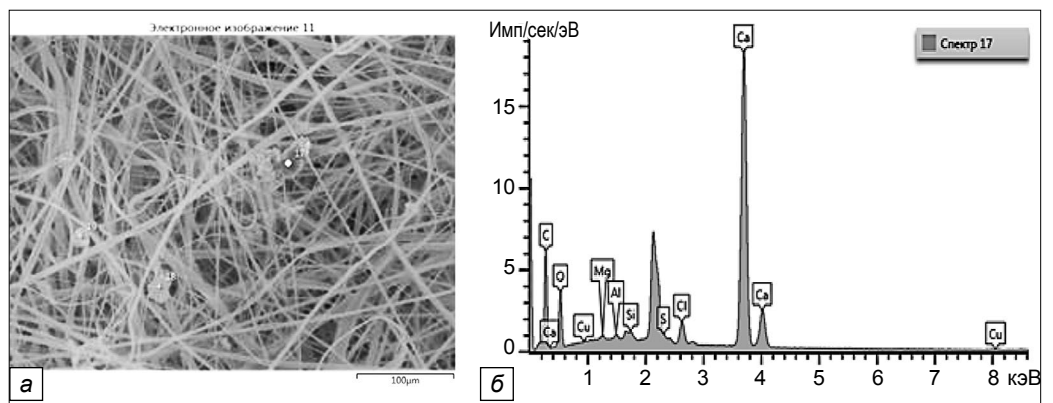
**Рис. 3.** Электронная фотография частиц (а) и спектрограмма (б) пыли в точке № 2 – Восточное шоссе, 1/5.

**Fig. 3.** Electron photograph of particles (a) and spectrogram (b) of the dust at point No. 2 – Vostochnoye highway, 1/5.



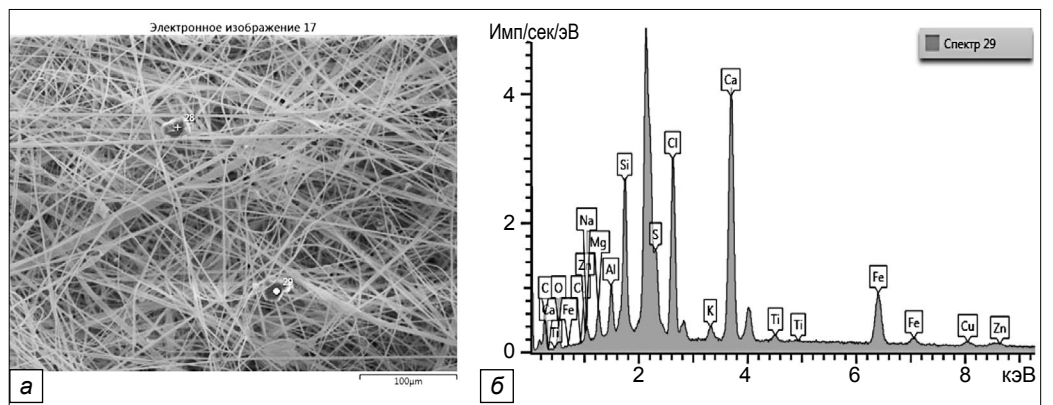
**Рис. 4.** Электронная фотография частиц (а) и спектрограмма (б) пыли в точке № 3 – ул. Горная, 6.

**Fig. 4.** Electron photograph of particles (a) and spectrogram (b) of the dust at point No. 3 – Gornaya street, 6.



**Рис. 5.** Электронная фотография частиц (а) и спектрограмма (б) пыли в точке № 4 – ул. Нуриманова, 9/2.

**Fig. 5.** Electron photograph of particles (a) and spectrogram (b) of the dust at point No. 4 – Nurimanova street, 9/2.



**Рис. 6.** Электронная фотография частиц (а) и спектрограмма (б) пыли в точке № 5 – ул. Старательская, 2/1.

**Fig. 6.** Electron photograph of particles (a) and spectrogram (b) of the dust at point No. 5 – Staratelskaya street, 2/1.

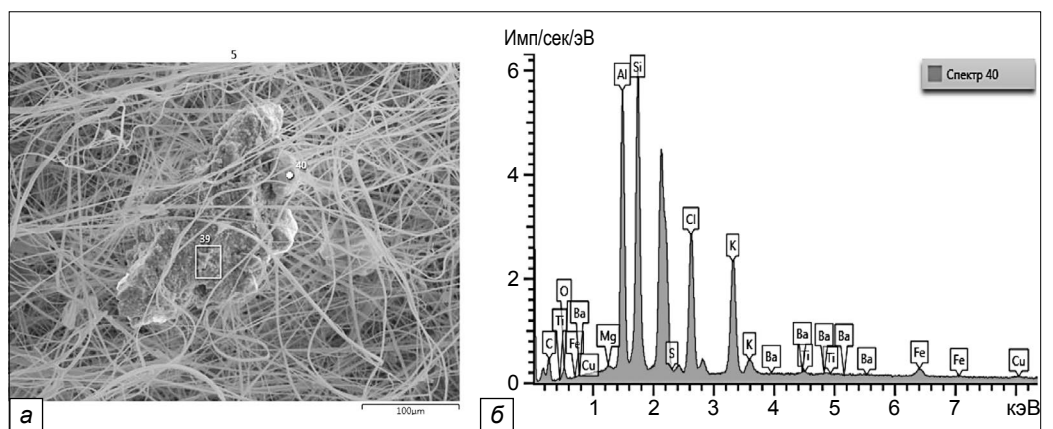


Таблица 2 / Table 2

Элементный состав пылей атмосферного воздуха Сибая, %  
Elemental composition of the atmospheric air dust in Sibay, %

Элемент Element	Точка № 1 – Индустриальное шоссе, 30 Industrialnoye highway, 30	Точка № 2 – Восточное шоссе, 1/5 Vostochnoye highway, 1/5	Точка № 3 – ул. Горная, 6 Gornaya street, 6	Точка № 4 – ул. Нуриманова, 9/2 Nurimanova street, 9/2	Точка № 5 – ул. Старательская, 2/1 Staratelskaya street, 2/1
C	37.611	51.429	49.612	63.775	55.419
O	20.663	18.223	10.996	2.273	5.597
Ca	19.848	6.399	27.688	0.150	8.326
Fe	3.450	0.970	0.800	0.000	7.960
Si	2.608	0.737	1.789	0.083	4.501
K	1.410	0.731	3.970	0.265	5.063
Al	0.506	1.113	0.551	0.069t	1.270
Sc	0.480	–	–	–	–
Cu	0.299	0.230	0.344	0.262	0.397
S	0.228	0.969	0.338	0.168	0.582
Na	0.167	3.217	0.360	0.190	0.198
Mg	0.163	1.062	0.185	0.025	0.220
Zn	–	0.238	0.145	–	0.030
P	–	0.850	–	–	–
Ti	–	0.070	–	–	0.340
N	–	11.075	–	9.860	8.550
Co	–	2.480	–	–	–
Ba	–	–	–	–	0.890
Mn	–	–	–	–	0.060

В точке № 1 при идентификации частиц определены такие элементы, как Ca (наибольший пик наряду с Cl), S, C, Cu, Al (см. рис. 2).

В точке № 2 наибольший пик определён у Al, также встречались спектры C, Zn, Mg, Si, P, S, Ca и K (см. рис. 3).

В точке № 3 распределение спектров было схоже с точкой № 1 за исключением некоторых элементов. Наибольший пик соответствовал Ca, также определялись C, O, Cu, Mg, Al, Si, S (см. рис. 4).

В точке № 4 наибольший пик имели Ca и Si, определялись и другие элементы: S, Al, Fe, Zn, Cu, Fe, C, O и Ti (см. рис. 5).

В точке № 5 наибольший пик пришёлся на Si и Al, идентифицировались и такие элементы, как K, Mg, Fe, Ti, Fe, Cu, C, O, Ba. На фотографии образования продолговатой формы с чёткими краями включены в одну из нескольких составных частиц (см. рис. 6).

Таким образом, основными химическими элементами в составе твёрдых частиц, встречающихся во всех точках отбора проб, наряду с углеродом и кислородом являются Ca, Fe, Si, K, Al, Cu, S, Na и Mg. Цинк присутствует в пыли, отобранной в трёх точках, скандий, титан, кобальт, барий и марганец – только в одной точке (табл. 2).

## Обсуждение

Изучение элементного состава мелкодисперсной пыли в атмосферном воздухе Сибая проведено с использованием проб, отобранных в пяти точках, находящихся в селитебно-промышленных зонах. Анализ содержания мелкодисперсной пыли в воздухе Сибая позволил заключить, что наибольшее число химических элементов (17) присутствовало в пробах, отобранных в точке № 2, расположенной рядом с Сибайским заводом буровых реагентов (ЗБР). Основным загрязнителем окружающей среды в Сибее считается СФ УГОК. Интенсивная и длительная разработка Сибайского карьера способствовала накоплению в объектах окружающей среды,

прежде всего в почвах, токсичных металлов [13, 14]. Отвалы карьера располагаются на открытой местности, что и объясняет постоянное рассеивание пыли в атмосфере селитебной зоны Сибая [15].

Наши исследования показали, что в состав мелкодисперсной пыли входят такие элементы, как Ca, Fe, Al, Cu, Mg, Zn, Sc, Ti, Co, Mn, Si, K, S, Na, P, N, Ba. Полученные данные согласуются с материалами исследований различных авторов, которые также обнаруживали в составе мелкодисперсной пыли эти элементы [16, 17].

Dockery D.W. с соавт. установили, что взвешенные вещества при длительном воздействии увеличивают общую смертность от сердечно-сосудистых патологий, рака лёгкого и смертность от естественных причин [18, 19]. Повышается риск формирования патологий [20, 21]. При загрязнении атмосферного воздуха взвешенными веществами повышается риск обострений бронхиальной астмы и частоты госпитализаций [22].

Экспериментальные и эпидемиологические исследования показывают тесную связь загрязнения воздуха с возникновением болезней органов дыхания, в том числе ХОБЛ [23–25]. По данным Медицинского информационно-аналитического центра Министерства здравоохранения РБ (МИАЦ МЗ РБ), в 2017–2019 гг. среди взрослого и детского населения наблюдается рост заболеваемости болезнями органов дыхания (табл. 3). В 2017 г. заболеваемость пневмонией на 100 тыс. населения в Сибее составляла 1042,4, а в 2019 г. – 1192,5, что превысило среднереспубликанские показатели на 82,5% (в РБ – 653,2 случая на 100 тыс. населения). Показатели заболеваемости превышали среднереспубликанские по таким нозологиям, как аллергический ринит (от 89,4 до 174%), хронические болезни миндалин и аденоидов, паронизиллярный абсцесс (от 87 до 98,4%), хронический бронхит (от 5 до 82%), ХОБЛ (от 92 до 161%), бронхиальная астма, астматический статус (от 25 до 35%), причём в 2018 г. в Сибее была зафиксирована заболеваемость ниже среднереспубликанской на 23%.

Таблица 3 / Table 3

**Сравнительная оценка распространённости болезней органов дыхания в Сибайе и РБ (показатели общей заболеваемости на 100 тыс. населения)****Comparative assessment of the prevalence of respiratory diseases in the city of Sibay and the Republic of Bashkortostan (RB) (indicators of general morbidity per 100 thousand population)**

Болезни органов дыхания Respiratory diseases	Территория Territory	Годы наблюдения Years of observation		
		2017	2018	2019
Пневмония Pneumonia	Сибай / Sibay	1042.4	532.7	1192.5
	РБ / RB	566.4	512.0	653.2
Аллергический ринит Allergic rhinitis	Сибай / Sibay	459.2	338.6	456.8
	РБ / RB	233.2	178.8	166.5
Хронические болезни миндалин и аденоидов, паратонзиллярный абсцесс Chronic diseases of the tonsils and adenoids, paratonsillar abscess	Сибай / Sibay	1303.4	1280.4	1412.1
	РБ / RB	698.3	662.2	711.8
Бронхит хронический Bronchitis chronic	Сибай / Sibay	2031.7	1339.8	3656.0
	РБ / RB	1933.4	1067.4	2011.4
Хроническая обструктивная болезнь лёгких (ХОБЛ) Chronic obstructive pulmonary disease (COPD)	Сибай / Sibay	1416.2	760.5	1529.1
	РБ / RB	737.2	291.3	740.7
Бронхиальная астма, астматический статус Bronchial asthma, status asthmaticus	Сибай / Sibay	1094.0	407.5	1285.4
	РБ / RB	873.2	527.4	950.8

**Заключение**

По наличию мелкодисперсной пыли в атмосферном воздухе Сибая можно лишь предполагать возможные риски нарушений состояния здоровья населения, постоянно проживающего вблизи промышленных зон, в первую очередь за счёт заболеваемости болезнями органов дыхания. Для расчёта рисков для здоровья населения необходимо проведение

дополнительных исследований. Полученные сведения о параметрах и составе взвешенных частиц могут служить основой для анализа долевого вклада предприятий в загрязнение атмосферного воздуха в целях совершенствования функционирования городских предприятий и улучшения комфортности городской среды, а также для принятия необходимых решений по улучшению экологической ситуации в горно-рудном регионе в целом.

**Литература**

(п.п. 1–3, 7, 18–25 см. References)

- Фатхутдинова Л.М., Тафеева Е.А., Тимербулатова Г.А., Залялов Р.Р. Риски здоровью населения от загрязнения атмосферного воздуха мелкодисперсными взвешенными частицами. *Казанский медицинский журнал*. 2021; 102(6): 862–76. <https://doi.org/10.17816/KMJ2021-862> <https://elibrary.ru/jftzqz>
- Макоско А.А., Матешева А.В. Россия в XXI веке в условиях глобальных вызовов: проблемы управления рисками и обеспечения безопасности социально-экономических и социально-политических систем и природно-техногенных комплексов. В кн.: *Сборник материалов всероссийской научно-практической конференции. Том 1. М.*; 2020: 65–70. <https://elibrary.ru/hzxyre>
- Европейские рекомендации по профилактике сердечно-сосудистых заболеваний в клинической практике (пересмотр 2016). *Российский кардиологический журнал*. 2017; 22(6): 7–85. <https://elibrary.ru/yttvav>
- Голохваст К.С. *Атмосферные взвеси городов Дальнего Востока*. Владивосток; 2013.
- Безуглая Э.Ю., ред. *Состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2020 г. Ежегодник*. СПб.; 2021.
- Новиков С.М., Иваненко А.В., Волкова И.Ф., Корниенко А.П., Скворцова Н.С. Оценка ущерба здоровью населения Москвы от воздействия взвешенных веществ в атмосферном воздухе. *Гигиена и санитария*. 2009; 88(6): 41–4. <https://elibrary.ru/kyuzgp>
- Холодов А.С., Кириченко К.Ю., Задорнов К.С., Голохваст К.С. Влияние твердых взвешенных частиц атмосферного воздуха населенных пунктов на здоровье человека. *Вестник Камчатского государственного технического университета*. 2019; (49): 81–8. <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2019-49-81-88> <https://elibrary.ru/tezqau>
- Семенова И.Н., Рафикова Ю.С., Суюндуков Я.Т., Рафиков С.Ш., Биктимирова Г.Я. *Региональные эколого-гигиенические особенности окружающей среды и состояние здоровья населения Башкирского Зауралья*. Сибай; 2017.
- Абакумов Е.В., Суюндуков Я.Т., Пигарева Т.А., Семенова И.Н., Хасанова Р.Ф., Биктимирова Г.Я. и др. Биологическая и санитарная оценка отвалов Сибайского карьера Республики Башкортостан. *Гигиена и санитария*. 2016; 95(10): 929–34. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-10-929-934> <https://elibrary.ru/xdmutr>
- Бакиров А.Б., Валеев Т.К., Сулейманов Р.А., Рахматуллин Н.Р., Бактыбаева З.Б. Проблемы эндогенных пожаров при разработках рудных месторождений и опыт гигиенической оценки аварийной ситуации, связанной с выбросами серосодержащих соединений. *Гигиена и санитария*. 2019; 98(9): 917–22. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-9-917-922> <https://elibrary.ru/ahyubs>
- Хасанова Р.Ф., Семенова И.Н., Рафикова Ю.С., Суюндуков Я.Т., Ильина И.В. Оценка эколого-геохимического состояния почв и запыленности атмосферного воздуха в сельтебной зоне центра горнорудной промышленности. *Самарский научный вестник*. 2018; 7(4): 138–44. <https://doi.org/10.24411/2309-4370-2018-14124> <https://elibrary.ru/yppggj>
- Загороднов С.Ю., Кокоулина А.А., Попова Е.В. Изучение компонентного и дисперсного состава пылевых выбросов предприятий металлургического комплекса для задач оценки экспозиции населения. *Известия Самарского научного центра РАН*. 2015; 17(5–2): 451–6. <https://elibrary.ru/vyzmjd>
- Зайцева Н.В., Май И.В., Макс А.А., Загороднов С.Ю. Анализ дисперсного и компонентного состава пыли для оценки экспозиции населения в зонах влияния выбросов промышленных стационарных источников. *Гигиена и санитария*. 2013; 92(5): 19–23. <https://elibrary.ru/rkrxgl>

**References**

- Wilson R., Spengler J., eds. *Particles in Our Air: Concentrations and Health Effects*. Cambridge, MA: Harvard University Press; 1996.
- Laden F., Schwartz J., Speizer F.E., Dockery D.W. Reduction in fine particulate air pollution and mortality: Extended follow-up of the Harvard Six Cities study. *Am. J. Respir. Crit. Care Med*. 2006; 173(6): 667–72. <https://doi.org/10.1164/rccm.200503-443oc>
- Lepeule J., Laden F., Dockery D., Schwartz J. Chronic exposure to fine particles and mortality: an extended follow-up of the Harvard Six Cities study from 1974 to 2009. *Environ. Health Perspect*. 2012; 120(7): 965–70. <https://doi.org/10.1289/ehp.1104660>
- Fatkhutdinova L.M., Tafeeva E.A., Timerbulatova G.A., Zalyalov R.R. Health risks of air pollution with fine particulate matter. *Kazanskii meditsinskiy*

- zhurnal. 2021; 102(6): 862–76. <https://doi.org/10.17816/KMJ2021-862> <https://elibrary.ru/jftzqz> (in Russian)
5. Makosko A.A., Matesheva A.V. Russia in the XXI century in the context of global challenges: problems of risk management and security of socio-economic and socio-political systems and natural and man-made complexes. In: *Collection of Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference. Volume 1 [Sbornik materialov vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. Tom 1]*. Moscow; 2020: 65–70. <https://elibrary.ru/hzxyre> (in Russian)
  6. European guidelines on cardiovascular disease prevention in clinical practice. The sixth joint task force of the European society of cardiology and other societies on cardiovascular disease prevention in clinical practice (constituted by representatives of 10 societies and by invited experts). *Rossiiskii kardiologicheskii zhurnal*. 2017; 22(6): 7–85. <https://elibrary.ru/yttvav> (in Russian)
  7. 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.
  8. Golokhvast K.S. *Atmospheric Suspensions of the Cities of the Far East [Atmosfera v zvezdy gorodov Dal'nego Vostoka]*. Vladivostok; 2013. (in Russian)
  9. Bezuglaya E.Yu., ed. *The State of Atmospheric Air Pollution in Cities in Russia in 2020 – Yearbook [Sostoyaniye zagryazneniya atmosfery v gorodakh na territorii Rossii za 2020 g. Ezhegodnik]*. St. Petersburg; 2021. (in Russian)
  10. Novikov S.M., Ivanenko A.V., Volkova I.F., Kornienko A.P., Skvortsova N.S. Assessment of Moscow population health risk from exposure to ambient air suspended matter. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2009; 88(6): 41–4. <https://elibrary.ru/kyzypg> (in Russian)
  11. Kholodov A.S., Kirichenko K.Yu., Zadornov K.S., Golokhvast K.S. Effect of particulate matter in the air of residential areas on human health. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2019; (49): 81–8. <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2019-49-81-88> <https://elibrary.ru/tezqau> (in Russian)
  12. Semenova I.N., Rafikova Yu.S., Suyundukov Ya.T., Rafikov S.Sh., Biktimerova G.Ya. *Regional Ecological and Hygienic Features of the Environment and the State of Health of the Population of the Bashkir Trans-Urals [Regional'nye ekologo-gigienicheskie osobennosti okruzhayushchei sredy i sostoyaniye zdorov'ya naseleniya Bashkirskogo Zaural'ya]*. Sibay; 2017. (in Russian)
  13. Abakumov E.V., Suyundukov Ya.T., Pigareva T.A., Semenova I.N., Khasanova R.F., Biktimerova G.Ya., et al. Biological and sanitary evaluation of Sibaisky quarry dumps of the Bashkortostan republic. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2016; 95(10): 929–34. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-10-929-934> <https://elibrary.ru/xdmutr>
  14. Bakirov A.B., Valeev T.K., Suleimanov R.A., Rakhmatullin N.R., Baktybaeva Z.B. Problems of endogenous fires in the development of the ore deposits and the experience of the hygienic assessment of the emergency, the emission of sulfur-containing compounds. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2019; 98(9): 917–22. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-9-917-922> <https://elibrary.ru/ahyubs> (in Russian)
  15. Khasanova R.F., Semenova I.N., Rafikova Yu.S., Suyundukov Ya.T., Il'ina I.V. Assessment of ecological and geochemical condition of soils and dust content of atmospheric air in the residential zone of the mining industry center. *Samarskii nauchnyi vestnik*. 2018; 7(4): 138–44. <https://doi.org/10.24411/2309-4370-2018-14124> <https://elibrary.ru/yppggl>
  16. Zagorodnov S.Yu., Kokoulina A.A., Popova E.V. Studying of component and disperse structure of dust emissions of metallurgical complex enterprises for problems of estimation the population exposition. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN*. 2015; 17(5–2): 451–6. <https://elibrary.ru/vyzmjd> (in Russian)
  17. Zaitseva N.V., Mai I.V., Maks A.A., Zagorodnov S.Yu. Analysis of the dispersion and component composition of the dust for the assessment of the exposure to the population in the areas of influence of industrial emissions of stationary sources. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2013; 92(5): 19–23. <https://elibrary.ru/rkrxgl> (in Russian)
  18. Dockery D.W., Pope C.A. 3<sup>rd</sup>, Xu X., Spengler J.D., Ware J.H., Fay M.E., et al. An association between air pollution and mortality in six U.S. cities. *N. Engl. J. Med.* 1993; 329: 1753–9. <https://doi.org/10.1056/NEJM199312093292401>
  19. Pope C.A. 3<sup>rd</sup>, Thun M.J., Namboodiri M.M., Dockery D.W., Evans J.S., Speizer F.E., et al. Particulate air pollution as a predictor of mortality in a prospective study of U.S. adults. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 1995; 151(3 Pt. 1): 669–74. [https://doi.org/10.1164/ajrccm/151.3\\_Pt\\_1.669](https://doi.org/10.1164/ajrccm/151.3_Pt_1.669)
  20. Miller K.A., Siscovick D.S., Sheppard L., Shepherd K., Sullivan J.H., Anderson G.L., et al. Longterm exposure to air pollution and incidence of cardiovascular events in women. *N. Engl. J. Med.* 2007; 356(5): 447–58. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa054409>
  21. Dockery D.W., Stone P.H. Cardiovascular risks from fine particulate air pollution. *N. Engl. J. Med.* 2007; 356(5): 511–3. <https://doi.org/10.1056/NEJMe068274>
  22. Šcibor M., Malinowska-Ciešlik M. The association of exposure to PM<sub>10</sub> with the quality of life in adult asthma patients. *Int. J. Occup. Med. Environ. Health*. 2020; 33(3): 311–24. <https://doi.org/10.13075/ijomh.1896.01527>
  23. Duan R.R., Hao K., Yang T. Air pollution and chronic obstructive pulmonary disease. *Chronic Dis. Transl. Med.* 2020; 6(4): 260–9. <https://doi.org/10.1016/j.cdtm.2020.05.004>
  24. Bontinck A., Maes T., Joos G. Asthma and air pollution: recent insights in pathogenesis and clinical implications. *Curr. Opin. Pulmon. Med.* 2020; 26(1): 10–9. <https://doi.org/10.1097/mcp.0000000000000644>
  25. Guarnieri M., Balmes J.R. Outdoor air pollution and asthma. *Lancet*. 2014; 383(9928): 1581–92. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(14\)60617-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(14)60617-6)

## Информация об авторах

**Рафиков Салават Шагитович**, аспирант, мл. науч. сотр. отд. медицинской экологии ФБУН «Уфимский научно-исследовательский институт медицины труда и экологии человека», 450106, Уфа, Россия. E-mail: raf\_777@mail.ru@mail.ru

**Сулейманов Рафаил Анварович**, доктор мед. наук, зав. отд. медицинской экологии ФБУН «Уфимский научно-исследовательский институт медицины труда и экологии человека», 450106, Уфа, Россия.

**Семенова Ирина Николаевна**, доктор биол. наук, вед. науч. сотр. ГАНУ «Институт стратегических исследований Республики Башкортостан», Сибайский филиал, 453837, Сибай, Россия.

**Рафикова Юлия Самгулловна**, канд. биол. наук, ст. науч. сотр. ГАНУ «Институт стратегических исследований Республики Башкортостан», Сибайский филиал, 453837, Сибай, Россия.

**Валеев Тимур Камилевич**, канд. биол. наук, ст. науч. сотр. отд. медицинской экологии ФБУН «Уфимский научно-исследовательский институт медицины труда и экологии человека», 450106, Уфа, Россия.

**Рахматуллин Наиль Равилович**, канд. мед. наук, ст. науч. сотр. отд. медицинской экологии ФБУН «Уфимский научно-исследовательский институт медицины труда и экологии человека», 450106, Уфа, Россия.

**Рахматулина Лилиана Рамилевна**, мл. науч. сотр. отд. медицинской экологии ФБУН «Уфимский научно-исследовательский институт медицины труда и экологии человека», 450106, Уфа, Россия.

## Information about the authors

**Salavat Sh. Rafikov**, graduate student, junior researcher, Dept. of medical ecology, Ufa Research Institute of Occupational Medicine and Human Ecology, Ufa, 450106, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-1690-3573> E-mail: raf\_777@mail.ru@mail.ru

**Rafail A. Suleimanov**, MD, PhD, DSci., head of the Dept. of medical ecology, Dept. of medical ecology, Ufa Research Institute of Occupational Medicine and Human Ecology, Ufa, 450106, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-4134-5828>

**Irina N. Semenova**, MD, PhD, DSci., leading researcher, Sibay Institute (branch) Ufa University of Sciences and Technologies, Republic of Bashkortostan, Sibay, 450106, Russian Federation; Republic of Bashkortostan Central City Hospital of Sibay, Sibay, 453837, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-8213-6275>

**Yulia S. Rafikova**, MD, PhD, DSci., senior researcher, Republic of Bashkortostan Central City Hospital of Sibay, Sibay, 453837, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-9205-736X>

**Timur K. Valeev**, MD, PhD, DSci., senior researcher of the Dept. of medical ecology, Dept. of medical ecology, Ufa Research Institute of Occupational Medicine and Human Ecology, Ufa, 450106, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-7801-2675>

**Nail R. Rakhmatullin**, MD, PhD, senior researcher of the Dept. of medical ecology, Dept. of medical ecology, Ufa Research Institute of Occupational Medicine and Human Ecology, Ufa, 450106, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-3091-8029>

**Liliana R. Rakhmatullina**, junior researcher, Dept. of medical ecology, Ufa Research Institute of Occupational Medicine and Human Ecology, Ufa, 450106, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0002-5587-2733>