



DOI 10.22363/2313-2310-2022-30-2-153-163

УДК 57.042: 54.03

Научная статья / Research article

## Изучение размера пылевых частиц в районах угледобычи с использованием депонирующей способности снежного покрова

А.В. Сумина  , Е.В. Павлова , С.А. Кырова , Е.П. Ворожцов 

Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова,  
Абакан, Россия

 [alenasumina@list.ru](mailto:alenasumina@list.ru)

**Аннотация.** Проведен анализ размера частиц взвешенных веществ в образцах снега с различных участков вблизи угледобывающего предприятия ООО «Разрез Аршановский» Республики Хакасия. Точки отбора проб снежного покрова располагались в районе автодороги, по которой транспортируется уголь, и на расстоянии 0,5 км от села Аршаново в соответствии с розой ветров. Анализ размера частиц проводили с помощью прибора «Ласка-ТД». Было установлено, что в исследуемых образцах основная доля взвешенных частиц, независимо от точки исследования, имела размеры от 5 до 20 мкм, что составило от 63,8 до 81,3 % от общей массы взвешенных веществ. Участок, расположенный в западном направлении на расстоянии 0,5 км от населенного пункта, имел настолько низкие значения взвешенных веществ, что определить их с помощью указанного прибора не удалось. Средний размер частиц в зависимости от пункта исследования имел следующие значения (мкм): № 1 –  $11,2 \pm 0,4$ ; № 2 –  $11 \pm 1,6$ ; № 3 –  $9,3 \pm 0,2$ ; № 4 –  $7,3 \pm 0,9$ ; № 5 –  $13,5 \pm 0,3$ ; № 6 –  $11,5 \pm 0,2$ ; № 8 –  $11,6 \pm 0,3$ . Полученные результаты исследования позволяют сделать заключение о наличии в снежном покрове большого количества мелкоразмерной пыли, способной накапливаться в окружающей среде и негативно влиять на ее биологическую составляющую, в том числе на человека.

**Ключевые слова:** размер частиц, угледобыча, снежный покров, Хакасия, роза ветров, транспортировка угля

**Вклад авторов.** А.В. Сумина, Е.В. Павлова — концептуализация исследований, выполнение лабораторных опытов и сбор данных. Е.П. Ворожцов — выполнение лабораторных опытов. С.А. Кырова — концептуализация исследования, критический анализ текста. Все авторы участвовали в подведении итогов и подготовке заключения.

**История статьи:** поступила в редакцию 12.01.2022.; принята к публикации 14.03.2022.

**Для цитирования:** Сумина А.В., Павлова Е.В., Кырова С.А., Ворожцов Е.П. Изучение размера пылевых частиц в районах угледобычи с использованием депонирующей способности снежного покрова // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. Т. 30. № 2. С. 153—163. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-2-153-163>

© Сумина А.В., Павлова Е.В., Кырова С.А., Ворожцов Е.П., 2022



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0  
International License <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/1>

## On the issue of studying the size of dust particles in coal mining areas using the depositing ability of the snow cover

A.V. Sumina  , E.V. Pavlova , S.A. Kyrova , E.P. Vorozhtsov 

*Khakass State University named after N.F. Katanov*

*Abakan, Russia*

 alenasumina@list.ru

**Abstract.** The analysis of the particle size of suspended solids in snow samples from various areas near the coal-mining enterprise “Razrez Arshanovsky” LLC in the Republic of Khakassia. Snow sampling sites of the snow cover were located in the area of the road along which coal is transported, and at a distance of 0,5 km from the village of Arshanovo in accordance with the wind rose. Particle size analysis was performed using a Laska-TD device. It was found that in the samples under study, the main proportion of suspended particles, regardless of the point of study, had sizes from 5 to 20 microns, which numerically amounted from 63.8 to 81,3 % of the total weight of suspended substances. The site located in the western direction at a distance of 0,5 km from the Arshanovo had such low values of suspended solids that it was not possible to determine them using the Laska-TD device. The average particle size, depending on the point of study, had the following values ( $\mu\text{m}$ ): № 1 –  $11,2 \pm 0,4$ ; № 2 –  $11 \pm 1,6$ ; № 3 –  $9,3 \pm 0,2$ ; № 4 –  $7,3 \pm 0,9$ ; № 5 –  $13,5 \pm 0,3$ ; № 6 –  $11,5 \pm 0,2$ ; № 8 –  $11,6 \pm 0,3$ . The obtained results of the study allow to conclude that there is a large amount of fine dust in the snow cover, which can accumulate in the environment and negatively affect its biological component, including humans.

**Keywords:** particle size, coal mining, snow cover, Khakassia, wind rose, coal transportation

**Authors' contributions.** A.V. Sumina, E.V. Pavlova — conceptualization of research, performance of laboratory experiments and data collection. E.P. Vorozhtsov — performance of laboratory experiments. S.A. Kyrova — conceptualization of research, critical analysis of the text. All the authors participated in the summing up and preparation of the conclusion.

**Article history:** received 12.01.2022.; accepted 14.03.2022.

**For citation:** Sumina AV, Pavlova EV, Kyrova SA, Vorozhtsov EP. On the issue of studying the size of dust particles in coal mining areas using the depositing ability of the snow cover. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2022;30(2):153—163. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-1-153-163>

### Введение

Наиболее динамичной и сложной средой для проведения мониторинга является атмосферный воздух, поэтому при исследовании данного компонента окружающей среды используют разнообразные методы, в том числе и экспрессные, позволяющие в относительно короткие сроки провести оценку качества окружающей среды, например анализ снежного покрова в части аккумуляции загрязнений атмосферного воздуха [1].

Сегодня территория республики подвержена серьезным региональным загрязнениям, связанным с активной разработкой угольных месторождений. Данный тип природопользования изменяет практически все компоненты природной среды: воздушный бассейн, подземные воды, почвенный покров, растительность. В процессе добычи, переработки и перевалки угля в атмосферный воздух выбрасывается множество веществ, основными загрязнителями являются взвешенные вещества (пыли угля и угольной золы, пыли песка породы), диоксиды серы и азота, редкоземельные элементы [2]. При этом особую опасность представляет пыль с размером частиц менее 10—25 мкм [3—5], а по некоторым данным и менее

75 мкм [6]. Именно такая пыль находится во взвешенном состоянии в воздушной среде на протяжении длительного времени [3, 7]. В угольной пыли также могут содержаться потенциально опасные и токсичные микроэлементы, которые транспортируются воздушными потоками и оседают вблизи шахт, угольных предприятий, транспортных терминалов, приводя к загрязнению почвы и воды [8, 9]. Аэрозольная пыль может переноситься на большие расстояния, поэтому ее негативному воздействию подвержено население близлежащих территорий, не входящих в санитарно-защитные зоны предприятий [10].

В научной литературе приводятся данные о существенном влиянии способа разработки угольного месторождения на количество формируемой тонкодисперсной пыли. Также установлена положительная корреляция между рангом угля и количеством образованной тонкодисперсной пыли и отрицательная зависимость с ее микрокомпонентным составом [11].

К сожалению, основная часть научных исследований по указанной тематике проводится в основном на территории крупных населенных пунктов. Данных о составе атмосферных взвесей в небольших населенных пунктах, расположенных в районах угледобычи, приводится крайне мало.

**Цель исследования** заключалась в анализе размерности взвешенных частиц атмосферного воздуха в районах угледобычи посредством мониторинга снежного покрова.

## Объект и методы исследования

Точки отбора снежного покрова находились в районе села Аршаново. Данный населенный пункт расположен в Алтайском районе Республики Хакасия, в 34 км к юго-западу от райцентра с. Белый Яр. В непосредственной близости от села ведется добыча угля открытым способом, осуществляемая ООО «Разрез Аршановский».

Согласно данным Хакасского ЦГМС — филиала ФГБУ «Среднесибирское УГМС», преобладающие направления ветра, циркулирующие на данной территории, в течение года практически равномерно распределены между юго-западным и северным направлениями. Чуть меньшую долю занимают южные и северо-восточные ветра (табл. 1).

Таблица 1

### Повторяемость направлений ветра и штилей в районе исследований (по данным метеостанции «Хакасская», %)

Направление ветра и штилей	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	Штиль
Повторяемость направлений ветра и штилей, %	18	14	7	8	15	19	12	7	25

Table 1

### Frequency of calm and wind directions in the study area (according to the data of the Khakasskaya meteorological station, %)

Wind direction and calm	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Calm
Repeatability of wind directions and calms, %	18	14	7	8	15	19	12	7	25

Таблица 2 отражает распределение температур на территории исследования. Можно видеть, что стабильно отрицательные температуры установились в ноябре 2020 г. В сравнении с многолетними значениями осенне-зимний период 2020—2021 гг. имел относительно невысокие значения температур, за исключением января 2021 г.

Таблица 2

**Температурный режим исследуемой территории  
за октябрь—февраль 2021 г., °С**

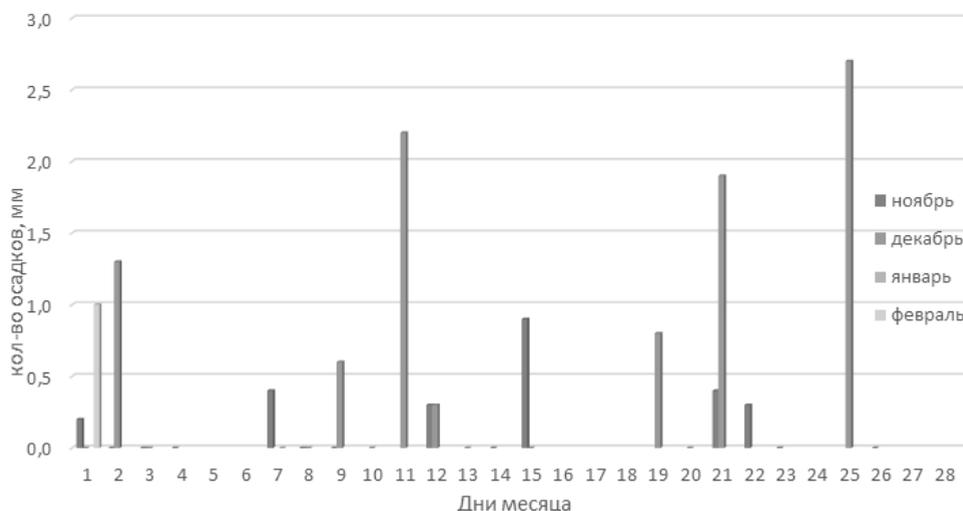
Показатель	Месяц				
	октябрь	ноябрь	декабрь	январь	февраль
Среднемесячное	2,4	-4,1	-14,0	-19,4	-14,1
Среднемноголетнее	8,3	-8,3	-15,9	-18,7	-17,1
Разница	-5,9	4,2	1,9	-0,7	3,0

Table 2

**Temperature regime of the study area for the period October-February 2021, °C**

Index	Month				
	October	November	December	January	February
Average monthly	2,4	-4,1	-14,0	-19,4	-14,1
Average long-term	8,3	-8,3	-15,9	-18,7	-17,1
Difference	-5,9	4,2	1,9	-0,7	3,0

Относительно постоянный снежный покров на территории исследования установился в ноябре 2020 г. Атмосферные осадки в течение указанного периода распределялись неравномерно (рис. 1). Значения данного показателя находились в пределах среднемноголетних значений, за исключением декабря 2020 г., когда отмечался дефицит.



**Рис. 1.** Количество осадков, выпавших на исследуемой территории, за период октябрь–февраль 2021 г.

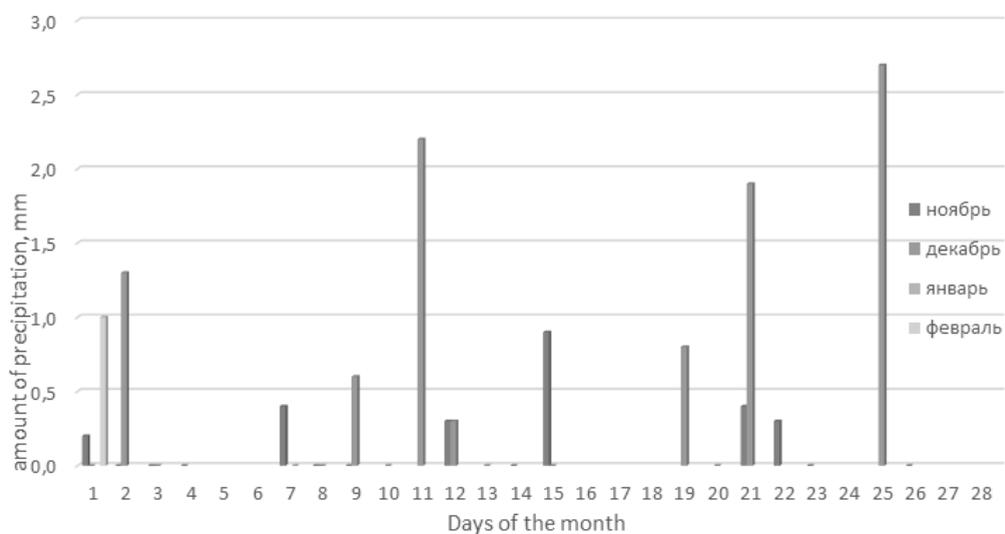


Fig. 1. The amount of precipitation in the study area for the period October-February 2021

Отбор снеговых проб проводили в феврале 2021 г. вблизи с. Аршаново Алтайского района Республики Хакасия на восьми участках. Первые четыре участка располагались в северном направлении от села, вблизи в районе автомобильной дороги, по которой транспортируют уголь от разреза Аршановский. При этом участки находились на разном удалении от источника загрязнения (автодороги). Также были отобраны образцы снега с участков согласно направлениям розы ветров, находящихся на удалении около 500 м от населенного пункта. Расположение и характеристика точек отбора проб снежного покрова в районе исследования приведены в табл. 3.

Анализ состава снеговых проб проводился в лаборатории Института естественных наук и математики Хакасского государственного университета им. Н.Ф. Катанова. После топления проб и фильтрования массу взвешенных частиц определяли весовым методом, точность составила 0,0001 г. Анализ размерности частиц проводили с помощью лазерного прибора «Ласка-ТД». Повторность всех измерений трех-, четырехкратная.

Таблица 3

#### Расположение и характеристика точек отбора снежного покрова

№ участка	Координаты, WGS 84 (градусы, минуты и секунды, DD MM SS)		Высота м над ур. м.	Характеристика точек	Высота снежного покрова, см
	Северная широта	Восточная долгота			
1	53°25'48.0"	91° 4'43.8"	256	Точка расположена на меандрирующем рукаве р. Абакан в северном направлении от с. Аршаново (на расстоянии 492 м) в направлении автомобильной дороги (на расстоянии 15 м), по которой транспортируют уголь	6
2	53°25'48.4"	91° 4'43.9"	264	Точка расположена на первой надпойменной террасе (5–8 м над урезом воды) до древесно-кустарниковой растительности в 10 метрах от дороги к северу от с. Аршаново на расстоянии 500 м	8

№ участка	Координаты, WGS 84 (градусы, минуты и секунды, DD MM SS)		Высота м над ур. м.	Характеристика точек	Высота снежного покрова, см
	Северная широта	Восточная долгота			
3	53°25'48.47"	91° 4'43.91"	262	Точка расположена на второй надпойменной террасе (8–10 м над урезом воды) после древесно-кустарниковой растительности в 5 метрах от дороги к северу от с. Аршаново на расстоянии 505 м	9
4	53°25'48.37"	91° 4'44.34"	262	Точка расположена на второй надпойменной террасе (1,5–2 м над урезом воды) после древесно-кустарниковой растительности в 3 метрах от дороги к северу от с. Аршаново на расстоянии 507 м.	16
5	53°24'58.10"	91° 5'2.50"	282	Точка расположена в восточном направлении от с. Аршаново на расстоянии 431 м. В направлении Аршановского угольного разреза (988 м от ближайшего отвала).	4,5
6	53°25'6.10"	91° 3'41.58"	286	Точка расположена в западном направлении от с. Аршаново (223 м) в направлении меандрирующего рукава р. Абакан	4,5
7	53°24'48.70"	91° 3'3.40"	284	Точка расположена в западном направлении от с. Аршаново (492 м) в направлении меандрирующего рукава р. Абакан, с западной стороны от дамбы, которая ориентированной на юг (1710)	8,5
8	53°23'43.70"	91° 2'53.80"	292	Точка расположена на старичном русле р. Абакан в северном направлении от с. Аршаново (на расстоянии 485 м). В восточном направлении от точки (на расстоянии 313 м) расположена автомобильная дорога, по которой транспортируют уголь. В 765 м на юго-восток расположен Майрыхский угольный разрез	5

Table 3

**Location and characteristics of points of sampling of snow cover**

Point No.	Coordinates, WGS 84 (degrees, minutes and seconds, DD MM SS)		Height m above sea level	Point characteristics	Snow depth, cm
	Northern latitude	Eastern longitude			
1	53°25'48.0"	91° 4'43.8"	256	The point is located on the meandering arm of the Abakan River in the northern direction from the village of Arshanovo (at a distance of 492 m) in the direction of the highway (at a distance of 15 meters) along which coal is transported	6
2	53°25'48.4"	91° 4'43.9"	264	The point is located on the first terrace above the floodplain (5–8 m above the water's edge) to trees and shrubs 10 meters from the road to the north of the village of Arshanovo at a distance of 500 m.	8
3	53°25'48.47"	91° 4'43.91"	262	The point is located on the second terrace above the floodplain (8–10 m above the water's edge) after trees and shrubs, 5 meters from the road to the north of the village of Arshanovo at a distance of 505 m	9

Point No.	Coordinates, WGS 84 (degrees, minutes and seconds, DD MM SS)		Height m above sea level	Point characteristics	Snow depth, cm
	Northern latitude	Eastern longitude			
4	53°25'48.37"	91° 4'44.34"	262	The point is located on the second terrace above the floodplain (1.5-2 m above the water's edge) after trees and shrubs, 3 meters from the road to the north of the village of Arshanovo at a distance of 507 m	16
5	53°24'58.10"	91° 5'2.50"	282	The point is located in the eastern direction from the village of Arshanovo at a distance of 431 m. In the direction of the Arshanovsky coal mine (988 m from the nearest dump).	4,5
6	53°25'6.10"	91° 3'41.58"	286	The point is located in the western direction from the village of Arshanovo (223 m) in the direction of the meandering arm of the Abakan River	4,5
7	53°24'48.70"	91° 3'3.40"	284	The point is located in the western direction from the village of Arshanovo (492 m) in the direction of the meandering arm of the Abakan River, on the western side of the dam, which is oriented south (1710)	8,5
8	53°23'43.70"	91° 2'53.80"	292	The point is located on the old channel of the Abakan River in the northern direction from the village of Arshanovo (at a distance of 485 m). In the eastern direction from the point (at a distance of 313 m) there is a motor road along which coal is transported. The Mayrykh coal mine is located 765 m to the southeast.	5

## Результаты и обсуждение

В атмосферном воздухе содержатся загрязняющие вещества, имеющие различные размерные характеристики. Согласно классификации К.С. Голохваста, атмосферные взвеси можно разделить на семь групп: 1) менее 1 мкм; 2) 1—10 мкм; 3) 10—50 мкм; 4) 50—100 мкм; 5) 100—400 мкм; 6) 400—700 мкм; 7) более 700 мкм [12]. При этом частицы размером 10—100 мкм могут переноситься в атмосфере на расстояния до нескольких тысяч километров, частицы размером до 10 мкм — до 10 тысяч километров [13]. Мелкие частицы способны долгое время оставаться в воздухе (несколько дней и даже недель), а крупные частицы размером более 10 мкм осаждаются быстрее, при этом концентрация частиц взвеси может сильно варьироваться во времени в одном и том же месте [3]. Большие и мелкие взвешенные частицы представляют собой сложное соединение органических и неорганических веществ.

При исследовании размера частиц снежно-грязевого шлама (участки 1—4), образующегося путем смешивания снега и поверхностных осадений с транспортных средств, транспортирующих уголь, было установлено, что независимо от точек исследования основная доля частиц имеет размеры в диапазоне от 5 до 20 мкм (табл. 4). Данный показатель составляет приблизительно 80 % от общего количества обнаруженных частиц. Исключение составляет участок № 4, где доля частиц с указанными параметрами равна 64 %. Наряду с этим для данной точки зарегистрировано увеличение загрязнений практически в 3 раза в сравнении с другими участками в границах автодороги, доли частиц размером 2—5 мкм. Средний размер частиц для участков отбора проб снежного покрова в районе дороги, по которой

транспортируется уголь до железнодорожного пути, имела следующие средние значения: № 1 —  $11,2 \pm 0,4$ ; № 2 —  $11 \pm 1,6$ ; № 3 —  $9,3 \pm 0,2$ ; № 4 —  $7,3 \pm 0,9$ . Можно видеть, что размерность частиц по мере удаления от дороги увеличивается.

Таблица 4

**Размерные характеристики частиц, содержащихся в образцах талой снеговой воды, собранных с территории исследования**

Пункт исследования	Доля частиц по размерам (мкм), %				
	1–2	2–5	5–20	20–50	50–100
1	$0,15 \pm 0,007$	$9,94 \pm 0,4$	$81,13 \pm 1,2$	$8,71 \pm 0,2$	$0,07 \pm 0,001$
2	$0,23 \pm 0,01$	$11,26 \pm 0,3$	$79,81 \pm 2,3$	$8,61 \pm 0,3$	$0,09 \pm 0,001$
3	$0,26 \pm 0,001$	$13,46 \pm 0,5$	$80,13 \pm 2,5$	$6,13 \pm 0,2$	$0,01 \pm 0,005$
4	$1,93 \pm 0,006$	$32,65 \pm 0,3$	$63,79 \pm 1,3$	$1,58 \pm 0,05$	–
5	$0,05 \pm 0,002$	$5,06 \pm 0,2$	$79,25 \pm 1,8$	$15,33 \pm 0,3$	$0,31 \pm 0,001$
6	$0,11 \pm 0,002$	$8,59 \pm 0,3$	$81,31 \pm 1,9$	$9,88 \pm 0,1$	$0,1 \pm 0,004$
8	$0,13 \pm 0,001$	$9,05 \pm 0,2$	$81,34 \pm 1,8$	$9,4 \pm 0,4$	$0,09 \pm 0,003$
Среднее	$0,41 \pm 0,36$	$12,86 \pm 11,2$	$78,11 \pm 1,9$	$8,52 \pm 7,1$	$0,11 \pm 0,15$

Примечание: значения в строках существенно различаются между собой в пределах каждой колонки для каждого пункта по *t*-критерию при  $p \leq 0,05$ .

Table 4

**Dimensional characteristics of particles contained in samples of melt snow water collected from the study area**

Research point	Fraction of particles by size ( $\mu\text{m}$ ), %				
	1–2	2–5	5–20	20–50	50–100
1	$0,15 \pm 0,007$	$9,94 \pm 0,4$	$81,13 \pm 1,2$	$8,71 \pm 0,2$	$0,07 \pm 0,001$
2	$0,23 \pm 0,01$	$11,26 \pm 0,3$	$79,81 \pm 2,3$	$8,61 \pm 0,3$	$0,09 \pm 0,001$
3	$0,26 \pm 0,001$	$13,46 \pm 0,5$	$80,13 \pm 2,5$	$6,13 \pm 0,2$	$0,01 \pm 0,005$
4	$1,93 \pm 0,006$	$32,65 \pm 0,3$	$63,79 \pm 1,3$	$1,58 \pm 0,05$	–
5	$0,05 \pm 0,002$	$5,06 \pm 0,2$	$79,25 \pm 1,8$	$15,33 \pm 0,3$	$0,31 \pm 0,001$
6	$0,11 \pm 0,002$	$8,59 \pm 0,3$	$81,31 \pm 1,9$	$9,88 \pm 0,1$	$0,1 \pm 0,004$
8	$0,13 \pm 0,001$	$9,05 \pm 0,2$	$81,34 \pm 1,8$	$9,4 \pm 0,4$	$0,09 \pm 0,003$
Average	$0,41 \pm 0,36$	$12,86 \pm 11,2$	$78,11 \pm 1,9$	$8,52 \pm 7,1$	$0,11 \pm 0,15$

Note: the values in the lines differ significantly from each other within each column for each item according to the *t*-criterion at  $p \leq 0,05$ .

Анализ размера частиц, образцов снеговой воды с участков, расположенных по направлению розы ветров, показал, что основная доля принадлежит частицам с размерами от 5–20 мкм. При этом средний размер частиц для участка № 5 составил  $13,5 \pm 0,3$  мкм, для участка № 6 —  $11,5 \pm 0,2$  мкм, для участка № 8 —  $11,6 \pm 0,3$  мкм. Размер частиц участка № 7 был настолько мал как с количественной, так и с качественной стороны, что определить его с помощью прибора не представлялось возможным, что объясняется его расположением по отношению к источникам загрязнения и розе ветров.

**Зависимость размера частиц от массы фильтрата снеговой воды,  
собранный с исследуемых участков (n = 24)**

Размер частиц, мкм	Масса загрязняющих веществ, г
1–2	0,88
2–5	0,92
5–20	-0,85
20–50	-0,85
50–100	-0,60

Table 5

**Dependence of the size of particles on the mass of snow water filtrate collected  
from the studied areas (n = 24)**

Particle size, $\mu\text{m}$	Weight of pollutants, g
1–2	0,88
2–5	0,92
5–20	-0,85
20–50	-0,85
50–100	-0,60

При проведении корреляционного анализа показателей массы загрязняющих веществ и размерных характеристик частиц было установлено, что частицы размером до 5 мкм имеют достоверную положительную зависимость с количественной составляющей снеговой талой воды. Противоположная тенденция отмечается для размерности от 5 до 100 мкм, которая имеет отрицательную корреляцию с массовыми характеристиками. Выявленная зависимость позволяет предположить, что с увеличением массы веществ, загрязняющих снеговой покров, увеличивается и доля мелкоразмерных частиц, которые являются потенциально опасными для здоровья человека и стабильного существования экосистем.

### Заключение

Атмосферные твердые взвешенные частицы представляют собой гетерогенную смесь различных размеров, способную перемещаться на большие расстояния. Данный факт играет значительную роль в биогеохимических циклах в части поступления различных загрязняющих веществ в экосистемы. В результате анализа размеров частиц взвешенных веществ в районе угледобычи ООО «Разрез Аршановский» с использованием депонирующей способности снежного покрова было установлено, что основная доля частиц имеет размеры в диапазоне от 0 до 20 мкм, т.е. принадлежит к мелкоразмерному загрязнению. Частицы от 50 до 100 мкм составляют, в зависимости от точки исследования, от десятой до сотой доли процента. В научной литературе имеются данные о негативном влиянии мелкоразмерных взвешенных частиц на здоровье человека, в частности они вызывают респираторные и сердечно-сосудистые заболевания [14]. В связи с этим дальнейшее исследование данного вопроса представляется крайне важным.

## Список литературы

- [1] Беспалова Е.В., Прожорина Т.И., Куролап С.А. Мониторинг техногенного загрязнения снежного покрова г. Воронежа // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2015. № 4. С. 77–80.
- [2] Экологический мониторинг в районах угледобычи. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2017. 208 с.
- [3] Холодов А.С. Геоэкологическая оценка загрязнения атмосферы малых и средних населенных пунктов Приморского края микроразмерными частицами. Тихоокеанский институт географии ДВО РАН. 2019.
- [4] Fedorova G.G., Sidorov I.N., Afanas'ev K.M. Dispersion of coal in a gaseous medium under the influence of physicochemical processes, and methods of dust suppression // Soviet Mining Science. 1974. Vol. 10. № 4. С. 498–503.
- [5] Harris M.L., Sapko M.J., Varley F.D., Weiss E.S. Coal Dust Explosibility Meter Evaluation and Recommendations for Application. Information Circular 9529. 2012.
- [6] Organiscak J.A., Page S.J. Airborne Dust Liberation During Coal Crushing // Coal Preparation. 2000. Vol. 21. № 5–6. С. 423–453. DOI: 10.1080/07349340108945630
- [7] Богатиков О.А. Неорганические наночастицы в природе // Вестник РАН. 2003. Т. 73. № 5. С. 426–428.
- [8] Rout T.K., Masto R.E., Padhy P.K., George J., Ram L.C., Maity S. Dust fall and elemental flux in a coal mining area // Journal of Geochemical Exploration, 2014. Vol. 144. № PC. С. 443–455. DOI 10.1016/j.gexplo.2014.04.003
- [9] Tang Z., Chai M., Cheng J., Jin J., Yang Y., Nie Z., Huang Q., Li Y. Contamination and health risks of heavy metals in street dust from a coal-mining city in eastern China // Ecotoxicology and Environmental Safety. 2017. Vol. 138. С. 83–91. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.11.003>
- [10] Jiang H., Du C., Dong J. Investigation of rock cutting dust formation and suppression using water jets during mining // Powder Technology. 2017. Vol. 307. С. 99–108. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2016.11.029>
- [11] Chen S., Wang H., Li Y., Cui H., Zhao J., Zhang X. Theoretical and numerical analysis of coal dust separated by centrifugal force for working and heading faces // International Journal of Coal Science and Technology. 2014. Vol. 1. № 3. С. 338–345. <https://doi.org/10.1007/s40789-014-0039-9>
- [12] Голохваст К.С. Атмосферные взвеси городов Дальнего Востока: монография. Владивосток: Дальневосточный федеральный университет, 2013. 178 с.
- [13] Salvador P. Composition and origin of PM10 in Cape Verde: characterization of long-range transport episodes // Atmospheric Environment. 2016. Vol. 127. P. 326–339. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.12.057>
- [14] Boreddy S.K.R., Hegde P., Aswini A.R. Geochemical characteristics of trace elements in size-resolved coastal urban aerosols associated with distinct air masses over tropical peninsular India: Size distributions and source apportionment // Science of The Total Environment. 2021. Vol. 763. С. 142–967. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142967>

## References

- [1] Bepalova EV, Prozhorina TI, Kurolap SA. Monitoring of techno-gene pollution of the snow cover of Voronezh. *Bulletin of Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology*. 2015;(4):77–80. (In Russ.)
- [2] Environmental monitoring in coal mining. Novosibirsk: Geo 2017. (In Russ.)
- [3] Kholodov AS. Geoecological assessment of atmospheric pollution of small and medium-sized settlements of Primorsky Krai with micro-dimensional particles: dissertation. Pacific Institute of Geography FEO RAS Publ. 2019. (In Russ.)
- [4] Fedorova GG, Sidorov IN, Afanas'ev KM. Dispersion of coal in a gaseous medium under the influence of physicochemical processes, and methods of dust suppression. *Soviet Mining Science*. 1974;10(4):498–503.
- [5] Harris ML, Sapko MJ, Varley FD, Weiss ES. Coal Dust Explosibility Meter Evaluation and Recommendations for Application. Information Circular 9529. 2012.
- [6] Organiscak JA, Page SJ. Airborne Dust Liberation During Coal Crushing. *Coal Preparation*. 2000;21(5–6):423–453. DOI: 10.1080/07349340108945630
- [7] Bogatnikov OA. Inorganic nanoparticles in nature. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences*. 2003;73(5):426–428. (In Russ.)
- [8] Rout TK, Masto RE, Padhy PK, George J, Ram LC, Maity S. Dust fall and elemental flux in a coal mining area. *Journal of Geochemical Exploration*. 2014;144(PC):443–455. DOI 10.1016/j.gexplo.2014.04.003
- [9] Tang Z, Chai M, Cheng J, Jin J, Yang Y, Nie Z, Huang Q, Li Y. Contamination and health risks of heavy metals in street dust from a coal-mining city in eastern China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2017;138:83–91. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.11.003>

- [10] Jiang H, Du C, Dong J. Investigation of rock cutting dust formation and suppression using water jets during mining. *Powder Technology*. 2017;307:99–108. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2016.11.029>
- [11] Chen S, Wang H, Li Y, Cui H, Zhao J, Zhang X. Theoretical and numerical analysis of coal dust separated by centrifugal force for working and heading faces. *International Journal of Coal Science and Technology*. 2014;1(3):338–345. <https://doi.org/10.1007/s40789-014-0039-9> (In Russ.)
- [12] Golokhvast KS. Atmospheric weights of cities of the Far East: mono-graphics. Vladivostok: Far Eastern Federal University Publ. 2013. (In Russ.)
- [13] Salvador P. Composition and origin of PM10 in Cape Verde: characterization of long-range transport episodes. *Atmospheric Environment*. 2016;127:326–339. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.12.057>
- [14] Boreddy SKR, Hegde P, Aswini AR. Geochemical characteristics of trace elements in size-resolved coastal urban aerosols associated with distinct air masses over tropical peninsular India: Size distributions and source apportionment. *Science of The Total Environment*. 2021;763:142967. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142967>

#### **Сведения об авторе:**

Сумина Алена Владимировна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры химии и геоэкологии, Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова, Российская Федерация, 655017, Республика Хакасия, г. Абакан, проспект Ленина, д. 90. ORCID: 0000-0002-0466-6833, SPIN-код: 8115-5233. E-mail: alenasumina@list.ru

Павлова Екатерина Валерьевна, кандидат географических наук, доцент кафедры химии и геоэкологии, Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова, ORCID 0000-0002-1970-7570, SPIN-код: 7779-6314. E-mail: eve21@yandex.ru

Кырова Светлана Анатольевна, кандидат географических наук, доцент кафедры химии и геоэкологии, Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова. ORCID: 0000-0003-3008-7277, SPIN-код: 363562. E-mail: Kyrova\_sa@khsu.ru

Ворожцов Евгений Павлович, студент 3 курса, Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова. SPIN-код: 7369-1563. E-mail: vorozhcov2001@mail.ru

#### **Bio note:**

Alena V. Sumina, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Chemistry and Geoecology named after N.F. Katanov Khakass State University. 90 Lenin Avenue, Abakan, 655017, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-0466-6833, SPIN code: 8115-5233. E-mail: alenasumina@list.ru

Ekaterina V. Pavlova, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of the Department of Chemistry and Geoecology named after N.F. Katanov Khakass State University. ORCID: 0000-0002-1970-7570, SPIN-code: 7779-6314. E-mail: eve21@yandex.ru

Svetlana A. Kyrova, Candidate of Geographical Geoecology named after N.F. Katanov Khakass State University. ORCID: 0000-0003-3008-7277, SPIN-code: 363562. E-mail: Kyrova\_sa@khsu.ru

Vorozhtsov E. Pavlovich, third-year undergraduate student Geoecology named after N.F. Katanov Khakass State University. ORCID: 0000-0001-8388-1330, SPIN-code: 7369-1563. E-mail: vorozhcov2001@mail.ru