

УДК 502:57.042:54.03

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕСОВЫХ И РАЗМЕРНЫХ  
ХАРАКТЕРИСТИК ПЫЛИ В РАЙОНАХ УГЛЕДОБЫЧИ****Сумина А.В., Павлова Е.В., Бортников С.В., Ворожцов Е.П.***ФГБОУ ВО «Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова», Абакан,  
e-mail: alenasumina@list.ru*

Проведен анализ весовых и размерных характеристик частиц взвешенных веществ в образцах снега с различных участков вблизи угледобывающих предприятий, расположенных в Алтайском районе Республики Хакасия. Точки отбора проб снежного покрова располагались в окрестностях населенных пунктов с. Аршаново, с. Белый Яр и районе автодороги, по которой транспортируется уголь, в соответствии с розой ветров. Анализ размера частиц проводили с помощью прибора «Ласка-ТД». Было установлено, что масса загрязняющих веществ, аккумулирующихся на снежном покрове, для территории в окрестностях с. Аршаново имела более высокие значения в сравнении с с. Белый Яр. При этом для с. Аршаново разница между минимальным и максимальным значениями массы пылевых частиц – 240 раз, коэффициент вариации – 1,62. Для Белого Яра разница между крайними значениями составила 9 раз, коэффициент вариации – 0,51. Определено, что в исследуемых образцах основная доля взвешенных частиц, независимо от точки исследования, имела размеры от 5 до 20 мкм. Полученные результаты исследования позволяют сделать заключение о наличии в исследуемом покрове большого количества мелкоразмерной пыли, способной накапливаться в окружающей среде и негативно влиять на ее биологическую составляющую, в том числе и человека.

**Ключевые слова:** размер частиц, угледобыча, снежный покров, Хакасия, роза ветров, транспортировка угля**STUDY OF WEIGHT AND DIMENSIONAL  
CHARACTERISTICS DUST IN COAL MINING AREAS****Sumina A.V., Pavlova E.V., Bortnikov S.V., Vorozhtsov E.P.***Khakass State University named after N.F. Katanov, Abakan, e-mail: alenasumina@list.ru*

The analysis of the weight and size characteristics of suspended matter particles in snow samples from various sites near coal mining enterprises located in the Altai region of Khakassia was carried out. The sampling points of the snow cover were located in the vicinity of the settlements of the village of Arshanovo, the village of Bely Yar and the area of the highway along which coal is transported in accordance with the wind rose. Particle size analysis was performed using the Laska-TD device. It was found that the mass of pollutants accumulating on the snow cover, for the territory in the vicinity of s. Arshanovo had higher values in comparison with the village of Bely Yar. At the same time, for the village of Arshanovo, the difference between the minimum and maximum values of the mass of dust particles is 240 times, the coefficient of variation is 1.62. For Bely Yar, the difference between the extreme values was 9 times, the coefficient of variation was 0.51. It was determined that in the studied samples, the main proportion of suspended particles, regardless of the point of study, had sizes from 5 to 20 microns. The obtained results of the study allow us to conclude that there is a large amount of fine dust in the snow cover that 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*Исследование выполнено за счет гранта Министерства образования и науки Республики Хакасия (Соглашение № 93 от 13.12.2022).*

Республика Хакасия занимает четырнадцатое место среди всех субъектов Российской Федерации и третье место в Сибири по добыче каменного угля. В настоящее время Республика добывает 5% от общего объема извлечения данного природного ресурса в России, а к 2035 г. запланировано осуществить добычу каменного угля в объеме 68,5 млн т [1]. Учитывая интенсивное развитие данной отрасли в Республике Хакасия, важно уделять внимание и изучению экологических аспектов угледобычи, в частности вопросам, связанным с мониторингом загрязнения атмосферы пылевыми частицами.

Как известно, технологические процессы, связанные с открытой добычей, перемещением, хранением и переработкой угля, сопровождаются образованием угольной

пыли [2–4]. Ее повышенная концентрация может приводить к различным негативным последствиям: от возникновения угрозы для здоровья людей до снижения атмосферной видимости и усугубления смога вокруг близлежащих населенных пунктов [5–7].

Важным параметром в экологической оценке угольной пыли является размер частиц (гранулометрический состав), так как он напрямую влияет на скорость прохождения реакции, седиментацию, растворимость и в конечном итоге на здоровье человека. В настоящее время существует множество методов измерения размера частиц угольной пыли: седиментация, механическая сортировка частиц, фильтрация, оптические методы, динамическое светорассеяние и др. [6]. Многие исследования документально под-

твердили, что воздействие на человека высоких концентраций аэрозольных частиц может привести к серьезным заболеваниям, таким как ишемическая болезнь сердца, инсульт, рак и острые респираторные заболевания легких [5, 7]. В этой связи особую опасность представляют респираторные и трахеобронхиальные пылинки, способные проникать в альвеолы и периферии легкого [8].

Одними из распространенных и доступных методов борьбы с пылью на угледобывающих предприятиях являются: смачивание водой при горных работах, орошение основных источников пылеобразования, снижение пылеобразования пеной. В настоящее время в мире активно ведутся исследования и разработки, связанные с химическими пылеподавителями. При этом важным направлением исследований технологии обеспыливания и пылеподавления является разработка комбинированного пылеподавателя с широким спектром дешевого сырья, простым и легким процессом изготовления, экологически чистыми продуктами и хорошим эффектом подавления пыли [5]. К основным критериям отбора можно отнести следующие факторы: смачи-

ваемость, покрытие площади поверхности, скорость поглощения мелких частиц, силы сцепления между частицами, проникновение и долговечность пылеподавателя [3].

Несмотря на актуальность исследований, касающихся размерных и весовых характеристик пыли в районах угледобычи, данных по вышеуказанным параметрам в научной литературе приводится относительно немного.

Цель работы заключалась в анализе размерных и весовых характеристик пылевых частиц в районах угледобычи, на примере Алтайского района Республики Хакасия, с использованием депонирующей способности снежного покрова.

### Материалы и методы исследования

В качестве территории исследования был выбран Алтайский район Республики Хакасия, а именно близлежащие к угольным разрезам («Белоярский», «Изыхский» и «Аршановский») сельские населенные пункты – с. Белый Яр и с. Аршаново. Краткое описание точек отбора проб для изучения размерных и весовых характеристик пылевых частиц представлено в табл. 1.

Таблица 1

Расположение и характеристика точек отбора снежного покрова

| № точки   | Датум: WGS 84 (формат координат hddd°mm'ss.s") |                   | Высота над уровнем моря, м |
|---|--|-------------------|----------------------------|
|   | северная широта                                | восточная долгота |                            |
| с. Белый Яр (Алтайский район, Республика Хакасия) |  |                   |                            |
| 1   | 53°37'17.68"                                   | 91° 24'39.84"     | 219                        |
| 2   | 53°37'17.0"                                    | 91° 24'41.6"      | 223                        |
| 3   | 53°35'55.1"                                    | 91° 22'03.3"      | 237                        |
| 4   | 53°35'54.3"                                    | 91° 21'58.2"      | 240                        |
| 5   | 53°35'13.12"                                   | 91°20'31.88"      | 265                        |
| 6   | 53°33'55.2"                                    | 91° 21'06.9"      | 294                        |
| 7   | 53°34'08.9"                                    | 91° 22'14.3"      | 288                        |
| 8   | 53°35'21.0"                                    | 91° 24'50.0"      | 262                        |
| 9   | 53°36'30.1"                                    | 91° 25'04.6"      | 260                        |
| с. Аршаново (Алтайский район, Республика Хакасия) |  |                   |                            |
| 1   | 53°25'48.0"                                    | 91° 4'43.8"       | 256                        |
| 2   | 53°25'48.4"                                    | 91° 4'43.9"       | 264                        |
| 3   | 53°25'48.47"                                   | 91° 4'43.91"      | 262                        |
| 4   | 53°25'48.37"                                   | 91° 4'44.34"      | 262                        |
| 5   | 53°24'58.10"                                   | 91° 5'2.50"       | 282                        |
| 6   | 53°25'6.10"                                    | 91° 3'41.58"      | 286                        |
| 7   | 53°24'48.70"                                   | 91° 3'3.40"       | 284                        |
| 8   | 53°23'43.70"                                   | 91° 2'53.80"      | 292                        |

Отбор снеговых проб проводили в феврале – марте вблизи с. Аршаново и с. Белый Яр Алтайского района, Республики Хакасия на 17 участках. Атмосферные осадки в течение указанного периода распределялись неравномерно и находились в пределах среднепогодных значений. Высота снежного покрова на исследуемых точках отражена на рис. 1. Можно видеть, что для точек, расположенных в окрестностях с. Аршаново, высота снежного покрова имела значения от 4,5 (точки № 5, 6) до 16 см (точка № 4), средние по точкам значения высоты снега для данной территории – 7,7 см, коэффициент вариации – 48,6%. Для точек в границах с. Белый Яр диапазон варьирования данного показателя находился в интервале от 5,5 (точка № 9) до 12,5 см (точка № 1). Средние по точкам значения высоты снежного покрова – 9,4 см, коэффициент вариации – 23,8%, что может являться косвенным критерием однородности условий для данной территории.

Анализ состава снеговых проб проводился в лаборатории института естественных наук и математики Хакасского государственного университета им. Н.Ф. Катанова. После топления проб и фильтрации массу взвешенных частиц определяли весовым методом, точность составила 0,0001 г. Анализ размерности частиц проводили методом дифракции лазерного излучения на лазерном анализаторе микрочастиц «Ласка ТД». Повторность всех измерений трех-четырёхкратная [9].

#### Результаты исследования и их обсуждение

На первом этапе были изучены весовые характеристики пылевого загрязнения снежного покрова вышеописанных точек, при этом было установлено, что полученные данные разнятся в зависимости от территории и точек исследования (рис. 2, 3).

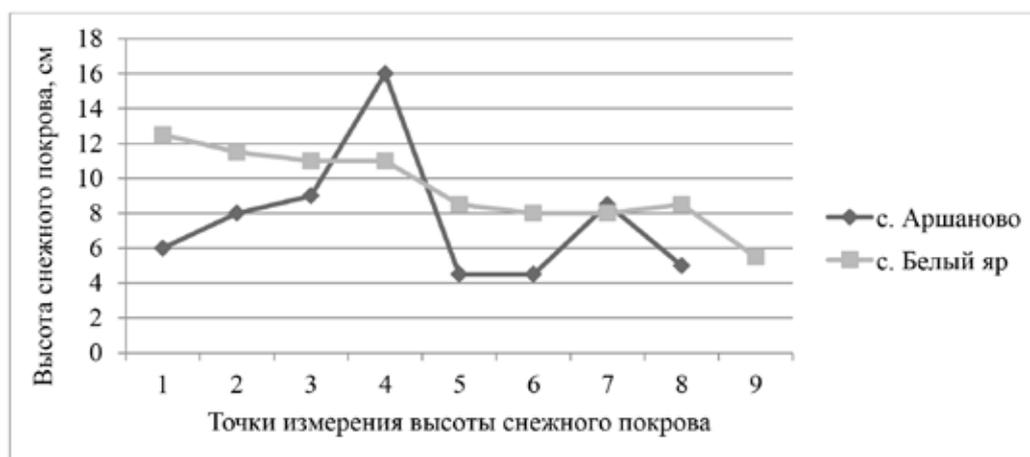


Рис. 1. Высота снежного покрова в районе с. Белый Яр и с. Аршаново (Алтайский район Республики Хакасия)

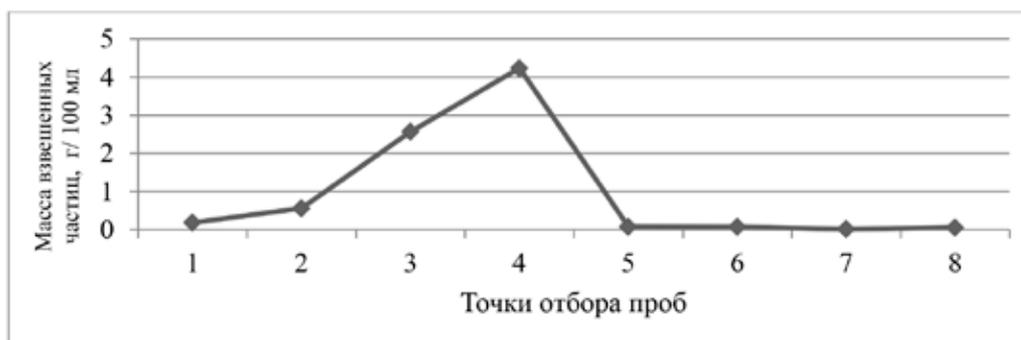


Рис. 2. Массовые характеристики пылевых частиц в районе с. Аршаново (Алтайский район Республики Хакасия)

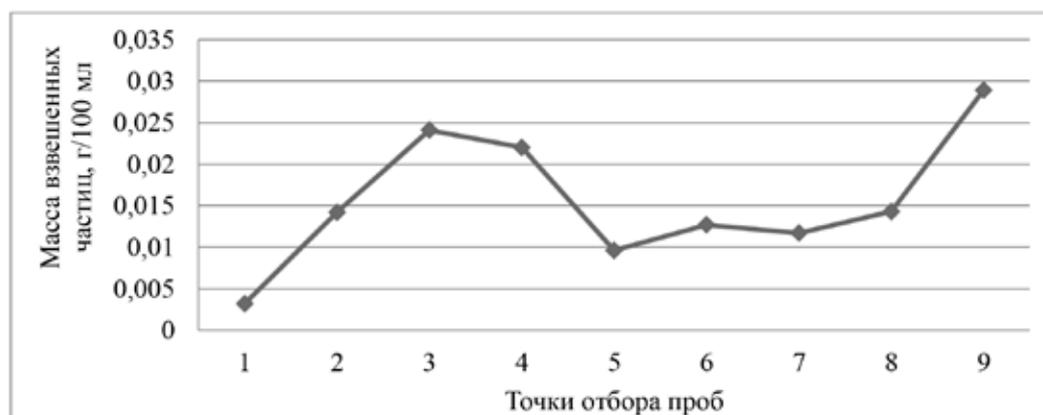


Рис. 3. Массовые характеристики пылевых частиц в районе с. Белый Яр (Алтайский район Республики Хакасия)

Рисунок 2 отражает весовые характеристики пылевых частиц в районе с. Аршаново. Можно видеть, что наибольшие значения данного показателя зарегистрированы в точках № 4 (4,24 г/100 мл) и № 3 (2,57 г/100 мл), которые расположены на второй надпойменной террасе (8–10 м над урезом воды) после древесно-кустарниковой растительности в 5 м от дороги к северу от с. Аршаново на расстоянии 505 и 507 м соответственно.

Наименьшие показатели в части массы пыли, депонирующей на снежном покрове, были получены для точек № 7 (0,0176 г/100 мл) и № 8 (0,0572 г/100 мл). Точка № 7 расположена в западном направлении от с. Аршаново на расстоянии 492 м, с западной стороны дамбы, ориентированной на юг (171°).

Точка № 8 расположена на старичном русле р. Абакан в южном направлении от с. Аршаново (на расстоянии 485 м). В восточном направлении от точки (на расстоянии 313 м) расположена автомобильная дорога, по которой транспортируют уголь из разреза «Аршановский» участок Аршановский – 1, расположенного в 2723 м на восток от точки. В 765 м на юго-запад от точки расположен разрез «Аршановский» участок Аршановский – 2. При этом разница между минимальным и максимальным значениями массы пылевых частиц для вышеуказанных точек – 240 раз, коэффициент вариации – 1,62.

Для территории в окрестностях с. Белый Яр минимальные весовые значения были получены для точек № 1 (0,0096 г/100мл) и № 5 (0,0032 г/100 мл). Первая точка расположена на склоне (уклон 33°) выровненной террасоподобной площадки отвала

вскрышных пород Изыхского угольного карьера на расстоянии 465 м в северном направлении от с. Белый Яр. Река Абакан находится на расстоянии 188 м в северо-западном направлении (300°) от точки. Автомобильная дорога расположена в юго-восточном направлении (132°), на расстоянии 342 м. Точка № 5 расположена на юго-западе с. Белый Яр в 337 м, вблизи намывного берега старичного русла р. Абакан. Максимальные значения зарегистрированы на участках № 9 (0,0289 г/100 мл) и № 3 (0,0241 г/100 мл). Точка № 9 расположена в восточном направлении (90°) на расстоянии 500 м от с. Белый Яр, на расстоянии 490 м (P412) и 250 м (P411) находятся автомобильные дороги. В восточном направлении (90°) от точки отбора проб на расстоянии 430 м размещаются внешние отвалы рекультивированного участка № 3 Изыхского угольного разреза. Точка № 3 расположена в западном направлении от с. Белый Яр на расстоянии 425 м, в пойме русла (3–5 м над урезом воды) в 38 м от р. Абакан. Разница между крайними значениями составила 9 раз, коэффициент вариации – 0,51.

На следующем этапе были проведены исследования в части размерности частиц и сравнительный анализ по данному показателю двух исследуемых территорий. Полученные данные представлены в табл. 2.

При проведении сравнительного анализа размера частиц снежно-грязевого шлама (табл. 2), образующегося путем смешивания снега и поверхностных осадений с транспортными средствами, транспортирующих уголь, было установлено, что независимо от пункта исследования основная доля частиц имеет размеры в диапазоне от 5 до 20 мкм.

Таблица 2

Средние размерные характеристики частиц, содержащихся в образцах талой снеговой воды, в зависимости от пункта исследования

| Пункт исследования | Доля частиц по размерам (мкм), % |      |      |       |        | Средний размер частиц, мкм |
|--------------------|----------------------------------|------|------|-------|--------|----------------------------|
|                    | 1–2                              | 2–5  | 5–20 | 20–50 | 50–100 |                            |
| С. Аршаново        | 0,4                              | 12,9 | 78,1 | 8,5   | 0,1    | 10,9                       |
| С. Белый Яр        | –                                | 1,2  | 68,3 | 29,1  | 1,4    | 17,3                       |

Для участков в окрестностях с. Аршаново данный показатель составляет 78,1 %, а для Белого Яра – 68,3 %. Для проб с территории с. Аршаново доля частиц с размерностью от 2 до 5 мкм практически в 10 раз превышала таковое для участков, близлежащих к с. Белый Яр. Напротив, для проб, отобранных в окрестностях с. Белый Яр, было обнаружено более высокое содержание крупных частиц в диапазоне 20–50 и 50–100 мкм.

Как известно, обязательным элементом добычи угля открытым способом является борьба с пылью на разных этапах технологического процесса, которая включает предупреждение пылеобразования, пылеподавление и пылеулавливание. Все источники пылевыделения на открытых горных работах можно разделить на две группы: локальные (точечные), к которым относятся объекты бурения, работа горного оборудования, пункты перегрузки и пересыпки горной массы, и площадные, включающие внешние и внутренние отвалы, техногенные массивы, взрывные работы, технологические дороги. Последние источники характеризуются более высокими объемами загрязненного воздуха, снижение концентрации угольной пыли может достигаться различными способами: предотвращением образования пыли, осаждением пыли посредством коагуляции, фильтрованием воздуха, разжижением и удалением пылевого облака из атмосферы [4].

На сегодняшний день выделяют несколько направлений борьбы с угольной пылью на разрезах. Первое – организационное, которое заключается в оптимизации производственных процессов. Второе основано на модернизации средств труда и применении обновленных машин и называется технологическое. Техническое направление состоит в использовании различных средств, способствующих снижению образования пыли. Еще одно направление – биологическое, которое заключается в применении материалов

на органической основе (биогенные способы) или с помощью объектов живой природы (биоценологические способы) [10]. При этом, в зависимости от экономических, энергетических, санитарно-гигиенических или экологических условий, возможно использовать как один, так и несколько способов [3, 4].

Анализ научных исследований и технических решений, направленных на снижение пылевыделения в условиях открытых горных работ, показал, что основным способом борьбы с пылью на точечных и площадных источниках пылеподавления является улавливание и осаждение твердых частиц пыли каплями жидкости [2–5]. Снижение пылевого загрязнения с помощью распыления воды или растворов на ее основе является одним из часто используемых и эффективных (снижение пыли до 95 %) способов борьбы с пылью на горных предприятиях. Ограничивающим природным фактором при использовании пылеподавляющих средств на основе воды в условиях Республики Хакасия являются отрицательные температуры воздуха в течение половины календарного года, в результате низких температур вода замерзает и затрудняет, а иногда и делает невозможным выход жидкости. В этой связи важным вопросом является разработка такого раствора, который не терял бы свои пылеподавляющие свойства даже при низких температурах.

В заключение хочется отметить, что представленные в работе данные позволяют сделать вывод о наличии в снежном покрове большого количества мелкоразмерной пыли, способной накапливаться в окружающей среде и негативно влиять на ее биологическую составляющую, в том числе человека, и иллюстрируют необходимость проведения исследований в части разработки состава для пылеподавления на разрезах и мониторинга загрязнения атмосферного воздуха угольной пылью в границах влияния угольных предприятий.

**Список литературы**

1. Гоппе А.В. Анализ состояния и динамики развития угольной отрасли Республики Хакасия // Экономика сегодня: современное состояние и перспективы развития: сборник материалов Всероссийской научной конференции молодых исследователей с международным участием. М., 2022. Т. 1. С. 240–243.
2. Калаева С.З.К., Муратова К.М., Чистяков Я.В. К вопросу защиты окружающей среды от мелкодисперсной пыли горных предприятий // Известия Тульского государственного университета. Науки о земле. 2019. № 1. С. 92–109.
3. Писарев В.С., Басаргин А.А. Методы борьбы с пылью на карьерных дорогах // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2020. Т. 1. № 1. С. 15–21.
4. Шаров Н.А., Дудаев Р.Р., Кришук Д.И., Лискова М.Ю. Методы пылеподавления на угольных разрезах Крайнего Севера // Недропользование. 2019. Т. 19. № 2. С. 184–200.
5. Cheng J., Wang Y., Lei Y., Zheng X., Luo W. Study on coal dust crusting for coal pile based on a compound binder // Powder Technology. 2020. Т. 376. С. 149–166.
6. Liu T., Liu S. The impacts of coal dust on miners' health: A review // Environmental Research. 2020. Т. 190. С. 109849.
7. Wang P. et al. Influence of particle diameter on the wettability of coal dust and the dust suppression efficiency via spraying // Process Safety and Environmental Protection. 2019. Т. 132. С. 189–199.
8. Коршунов Г.И., Ковшов С.В., Сафина А.М. Методы борьбы с пылью на открытых горных работах. Современное состояние физико-химических исследований // European research. 2017. № 1 (24). С. 9–11.
9. 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.
10. Шувалов Ю.В., Веселов А.П., Бульбашев А.П., Смирнов Ю.Д., Каменский А.А. Борьба с пылью на горных предприятиях с использованием долго- и короткоживущих пен повышенной кратности // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2007. Т. 7. Аэрология. С. 171–179.