

Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства

Научная статья

УДК 504

<http://doi.org/10.24866/2227-6858/2022-3/95-102>

И.В. Москвоя, А.И. Агошков, А.С. Круглова

МОСКОВАЯ ИРИНА ВЛАДИМИРОВНА – аспирант, старший преподаватель,

moskovaya_iv@dvfu.ru,

АГОШКОВ АЛЕКСАНДР ИВАНОВИЧ – д.т.н., профессор, agoshkov.ai@dvfu.ru

КРУГЛОВА АНАСТАСИЯ СЕРГЕЕВНА – магистр

Политехнический институт

Дальневосточный федеральный университет

Владивосток, Россия

Об измерении концентрации угольной пыли при осуществлении контроля качества атмосферного воздуха

Аннотация. Проанализирован опыт определения степени загрязнения атмосферного воздуха населенных мест угольной пылью, определены проблемы проведения анализа запыленности атмосферного воздуха в районе перевалки угля. Проведен эксперимент по определению количества угольной пыли в г. Находка по действующей аккредитованной методике измерений, выявлены проблемные участки проведения эксперимента и предложены меры по минимизации погрешности применяемой методики. **Ключевые слова:** угольная пыль, загрязнение атмосферы, методики анализа, гравиметрический способ, качество атмосферного воздуха

Для цитирования: Москвоя И.В., Агошков А.И., Круглова А.С. Об измерении концентрации угольной пыли при осуществлении контроля качества атмосферного воздуха // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2022. № 3(52). С. 95–102.

Введение

В последние годы в Российской Федерации активно развиваются экспортные поставки угля на рынки АТР. Зачастую данная деятельность осуществляется на портовых мощностях, минимально приспособленных для перевалки насыпных грузов. При этом работы сопровождаются активным поступлением угольной пыли в атмосферу [9] и не менее активным сопротивлением населения ведению подобных работ, связанных с постоянным и видимым загрязнением жилых территорий и атмосферного воздуха угольной пылью [4].

Доподлинно установить, превышают ли стивидорные компании гигиенические нормы и соблюдают ли санитарное законодательство по соблюдению размеров санитарно-защитных зон на практике оказалось весьма затруднительным. Одной из причин, которая осложняет процесс выявления загрязнителей, является несовершенство методического аппарата по определению количественного содержания угольной пыли в атмосферном воздухе населенных мест.

Загрязнение атмосферы угольной пылью происходило с момента промышленного освоения твердого ископаемого топлива в ходе работ по добыче, обогащению, транспортированию и использованию угля. Однако к нормативному регулированию количества угольной пыли в атмосферном воздухе пришли сравнительно недавно. Так, в Российской Федерации нормирование угольно-породной пыли осуществлялось в зависимости от содержания в общей пыли

частиц диоксида кремния: менее 20% SiO_2 , от 20 до 70 % SiO_2 и более 70% SiO_2 .³ В 2013 г. был принят новый норматив – ориентировочный безопасный уровень воздействия для вещества «пыль каменного угля», который составил 0,1 мг/м³, что фактически в 5 раз ужесточило ранее действовавший норматив, составлявший 0,5 мг/м³.⁴ Дальнейшая практика нормативного регулирования качества атмосферного воздуха привела к установлению в 2018 г. максимально-разовой и среднесуточной предельно-допустимых концентраций (ПДК) для вещества «пыль каменного угля» – 0,3 мг/м³ и 0,1 мг/м³, соответственно.⁵ Указанные нормативы были перенесены в действующий СанПиН 1.2.3685-21 без изменений.⁶

Введение в практику нормирования выбросов в атмосферу нового загрязняющего вещества «пыль каменного угля» потребовало, в свою очередь, разработки и утверждения методики для проведения инструментальных замеров и выделения данного вида пыли в атмосферном воздухе. Определение количества пылевых частиц, а следовательно, степени запыленности атмосферного воздуха, возможно при использовании нескольких методов, среди которых выделяются гравиметрический, радиоизотопный, гранулометрический, морфологический. [1, 2, 6, 8].

Метод радиоизотопного анализа основан на зависимости поглощения радиоактивного излучения. Суть измерения заключается в том, что через слой пыли пропускается поток бета-частиц, который поглощается частицами пылевого аэрозоля [8]. Данный метод относится к методам с предварительным осаждением пыли. Масса осажённой пыли находится в хорошо описанной зависимости от степени поглощения излучения, выпускаемого источником. На результаты измерения влияют химический состав пыли, влажность и дисперсный состав. Данный способ измерения может использоваться как автоматизированная замена весового метода [1].

Для измерения методом лазерной гранулометрии отбирались пробы снега в пластиковые контейнеры емкостью 1 л. После процедуры сбора талый снег выпаривали с помощью роторного испарителя при температуре 40 °С до тех пор, пока его объем не уменьшится до 60 мл. Полученная жидкость подвергалась исследованию с использованием анализатора частиц Analysette 22 NanoTec plus (Fritsch, Германия). Каждый образец измерялся трижды при двух режимах работы прибора: нано (0,01–45 мкм) и микро (0,08–2000 мкм). Результаты измерений показывают среднее значение размера частиц и процентное содержание частиц различных фракций [9].

Морфологический метод определения количества пылевых частиц основан на статическом анализе изображений, рамановской или масс-спектропии. Размер анализируемых частиц 1–1000 мкм (до 10 мм). Сочетание статического анализа изображений и рамановской спектропии для химической идентификации отдельных частиц дает возможность измерять компоненты определенного размера и формы. Данный метод позволяет определить размер, форму, прозрачность, количество, расположение и химический состав частиц, а также ряд морфометрических параметров: длина, ширина, периметр, площадь, длина волокна, диаметр волокна и другие параметры. Главной особенностью метода является определение размера и химического состава каждой отдельно взятой частицы [7].

Результатом методической работы Роспотребнадзора по разработке методики определения содержания угольной пыли в атмосферном воздухе стало принятие в 2017 г. методических указаний (МУК) 4.1.3462-17 «Измерение концентраций угольной пыли в атмосферном воздухе и в воздухе рабочей зоны гравиметрическим методом», которые впоследствии были заменены на МУК 4.3.3593-19 «Методика измерений массовой концентрации угольной пыли

³ Гигиенические нормативы ГН 2.1.6.1338-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест»

⁴ Гигиенические нормативы ГН 2.1.6.2309-07 «Ориентировочные безопасные уровни воздействия (ОБУВ) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест»

⁵ Гигиенические нормативы ГН 2.1.6.3492-17 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений»

⁶ Санитарные правила и нормы СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»

и взвешенных частиц, в том числе аэрозолей фиброгенного действия, в атмосферном воздухе и воздухе рабочей зоны гравиметрическим методом».

В основу обеих методик был положен принцип определения массовой концентрации с помощью гравиметрического анализа с предварительной подготовкой пробы.

Гравиметрический (или весовой) анализ является методом количественного химического анализа, основанным на точном измерении массы исследуемого вещества. К достоинствам данного метода обычно относят его высокую точность и отсутствие необходимости предварительной градуировки измерительных приборов, а из недостатков метода чаще всего выделяют его высокую трудоемкость [1, 5].

Если для определения взвешенных частиц в атмосферном воздухе этап пробоподготовки сводится к доведению фильтра в термостате до постоянной массы, что само по себе является достаточно длительной процедурой, то в случае с угольной пылью подготовка отобранной пробы дополнительно требует проведения кислотной минерализации фильтров с использованием сильных кислот и последующей промывкой фильтров до нейтральной реакции промывных вод.

Материалы и методы исследования

В 2021 г. было проведено исследование по определению массовой концентрации угольной пыли с учетом стандартного образца состава кокс каменноугольный (СО-40) ГСО № 10230-13 по алгоритму оперативного контроля, прописанному в МУК 4.3.3593-19, а также исследование проб, отобранных на селитебных территориях вблизи мест хранения и перегрузки угля по МУК 4.3.3593-19.

Для исследования по алгоритму оперативного контроля, прописанному в МУК 4.3.3593-19, были подготовлены 16 фильтров (включая 3 холостые пробы) с диапазоном навесок от 1,5 до 5 мг, а также 6 фильтров с навеской менее 1,5 мг.

Данные фильтры с отобранными навесками пропускали через электроаспиратор ПА-300М-2 с расходом воздуха 100 дм³/мин и установленным методикой временем аспирации 20 мин, после чего взвешивали на аналитических весах.

Рассчитанные концентрации ГСО (мг/м³) с использованием фильтров № 11–32:

№ 11 – 31,500;	№ 17 – 69,250;	№ 23 – 130,167;	№ 29 – 0,109;
№ 12 – 34,000;	№ 18 – 76,250;	№ 24* –	№ 30 – 0,135;
№ 13 – 36,417;	№ 19 – 76,250;	№ 25* –	№ 31 – 0,142;
№ 14 – 41,583;	№ 20 – 100,250;	№ 26* –	№ 32 – 0,494.
№ 15 – 53,250;	№ 21 – 112,000;	№ 27 – 0,053;	
№ 16 – 67,500;	№ 22 – 122,000;	№ 28 – 0,076;	

* – холостые фильтры.

Кроме того, были отобраны пробы атмосферного воздуха на следующих участках:

– фильтр № 33 – г. Владивосток, придомовая территория жилого дома (ж/д) по ул. Тополевая, 46 (43°5'59"; 131°53'6") (17.03.2021 г.).

– фильтр № 34 – г. Владивосток, придомовая территория ж/д по ул. Дубовая, 4 (43°6'2"; 131°53'20") (12.03.2021 г.).

– фильтр № 35 – Точка № 12 (327 м. на юго-запад от дома по ул. Крабовая, 27). Характер подстилающей поверхности: почва (влажная) (11.03.2021 г.).

– фильтр № 36 – г. Находка ул. Астафьева, 3а в 500-700 м от терминала Астафьева (08.02.21 г.).

– фильтр № 37 – Точка № 9 (ул. Астафьева, 3а). Характер подстилающей поверхности: асфальт (сухой) (11.03.2021 г.).

– фильтр № 38 – г. Находка в 40 м от дома по ул. Крабовая 27, в зоне влияния предприятия компания «Аттис Энтерпрайс» (08.02.21 г.).

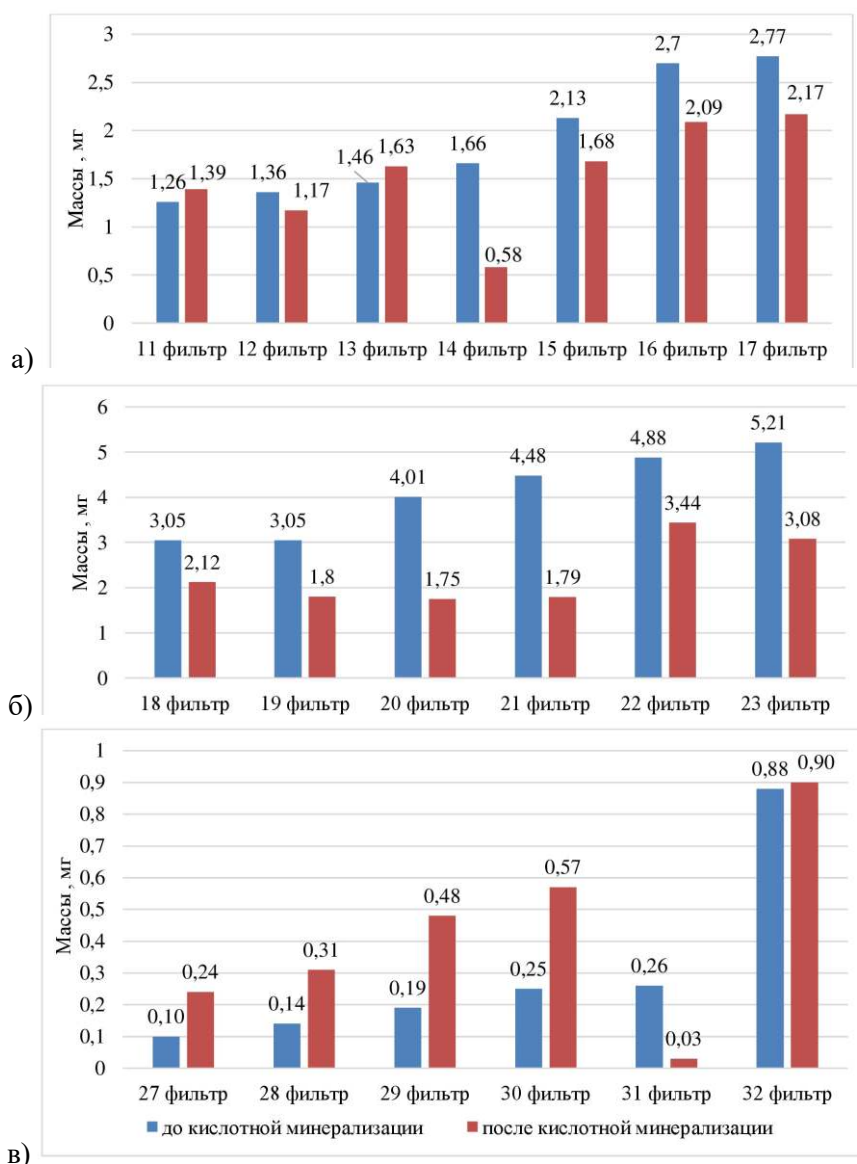


Рис. 1. Массы отобранных навесок ГСО до и после проведения кислотной минерализации. Фильтры: а) № 11–17; б) № 18–23; в) № 27–32

– фильтр № 39 – Точка на селитебной территории в р-не ж/д по адресу: г. Находка, п. Врангель, ул. Железнодорожная, д. 4 (42°45'54,824"; 133°4'48,942") (01.03.2021 г.).

– фильтр № 40 – Точка № 8 (ул. Крабовая, 27). Характер подстилающей поверхности: брусчатка (сухая) (11.03.2021 г.).

– фильтр № 41 – г. Находка в 500 м от предприятия ООО «Стивидорная компания «Малый порт» (15.12.20 г.).

Массовые концентрации взвешенных частиц (мг/м^3), рассчитанные с использованием фильтров № 33–41:

№ 33 – 0,092;	№ 36 – 0,204;	№ 39 – 0,335;
№ 34 – 0,115;	№ 37 – 0,214;	№ 40 – 0,400;
№ 35 – 0,154;	№ 38 – 0,281;	№ 41 – 2,015.

В процессе кислотной минерализации в течение 20 мин наблюдалось выделение легких белых паров (диоксид кремния в виде фторида кремния), которые сменялись густыми парами серной кислоты. Окончание кислотной минерализации проверялось добавлением капель дистиллированной воды в тефлоновые стаканчики, в результате чего реакция с выделением паров прекращалась и через небольшой промежуток времени возобновлялась.

При проведении эксперимента были замечены следующие особенности:

- 1) часть ГСО, которая в процессе аспирации не осела прочно на фильтрах, оставалась в растворе смеси кислот;
- 2) в ходе проведения кислотной минерализации химические волокна аналитических фильтров аэрозольных АФА-ВП-20-1 изменяли свои свойства и фазовое состояние;
- 3) в ходе промывки фильтров до нейтральной реакции промывных вод было отмечено вымывание навески ГСО с «рабочей поверхности» фильтров.

Кислотность промывных вод проверяли при помощи индикаторной бумаги.

Диапазон отобранных навесок ГСО изменялся от 0,10 до 5,21 мг. Наименьшую разницу между массами навесок до и после кислотной минерализации имеют фильтры № 11, 12, 13, 32.

Результаты анализов отобранных проб

Из рисунка следует, что увеличение масс навесок ГСО после проведения кислотной минерализации, в сравнении с массами навесок до кислотной минерализации, характерно для фильтров № 11, № 13, № 27–30, № 32. Это нарушает логику эксперимента и может быть связано с изменением пористой структуры химических волокон аналитических фильтров после проведения кислотной минерализации, в результате чего кислота задерживается и не полностью вымывается с фильтра. Кроме того, использование индикаторной бумаги для определения кислотности промывных вод не гарантирует точность определения pH, поэтому для более точных замеров необходимо использовать цифровые pH-метры.

Анализ полученных данных показывает: фильтры с сорбированными навесками № 12, № 14–23, № 31 уменьшают массу после проведения кислотной минерализации, что может быть связано с зольностью государственного стандартного образца, потерей навески во время промывания фильтров от кислот дистиллированной водой, а также недостаточным проникновением в ткани фильтров отобранных навесок после аспирации.

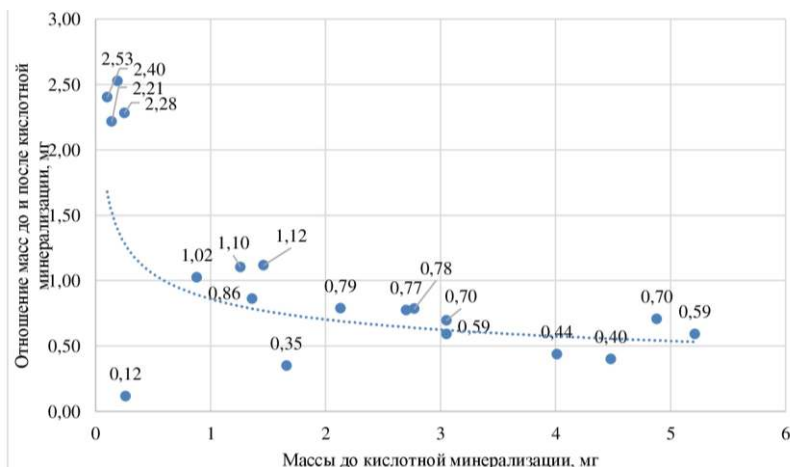


Рис. 2. Изменение соотношения масс до и после кислотной минерализации

В целом, можно сказать, что навески от 1 мг после проведения кислотной минерализации уменьшают свою массу, за исключением навесок на фильтрах № 11, № 13. Также навески менее 1 мг после проведения кислотной минерализации увеличивают свою массу, за исключением навески фильтра № 31.

Чтобы оценить, при какой массе методика работает устойчиво, было проанализировано изменение соотношения между массами до и после кислотной минерализации. Из рис. 2 видно, что методика устойчиво работает при массах на фильтре более 1 мг.

Обсуждение результатов

По результатам проведенного анализа, можно сделать вывод, что надежный рабочий диапазон методики составляет 1–3 мг.

Корреляционный анализ результатов исследования показывает, что фильтры с малой навеской имеют либо слабую положительную (с фильтрами, также набирающими массу после проведения кислотной минерализации) или отрицательную (с фильтрами, теряющими массу после кислотной минерализации) корреляцию. Данный факт подтверждает ранее высказанное предположение о том, что фильтры с малой навеской, набирающие массу после проведения кислотной минерализации, нарушают логику эксперимента и не могут рассматриваться как достоверные.

После верификации методика с использованием государственного стандартного образца была применена для анализа проб, отобранных на селитебных территориях г. Находка и г. Владивосток.

Эксперименты показали наличие артефактов (рис. 3а, б) – отрицательного значения масс фильтров после проведения кислотной минерализации по сравнению со значениями масс проб до проведения кислотной минерализации.

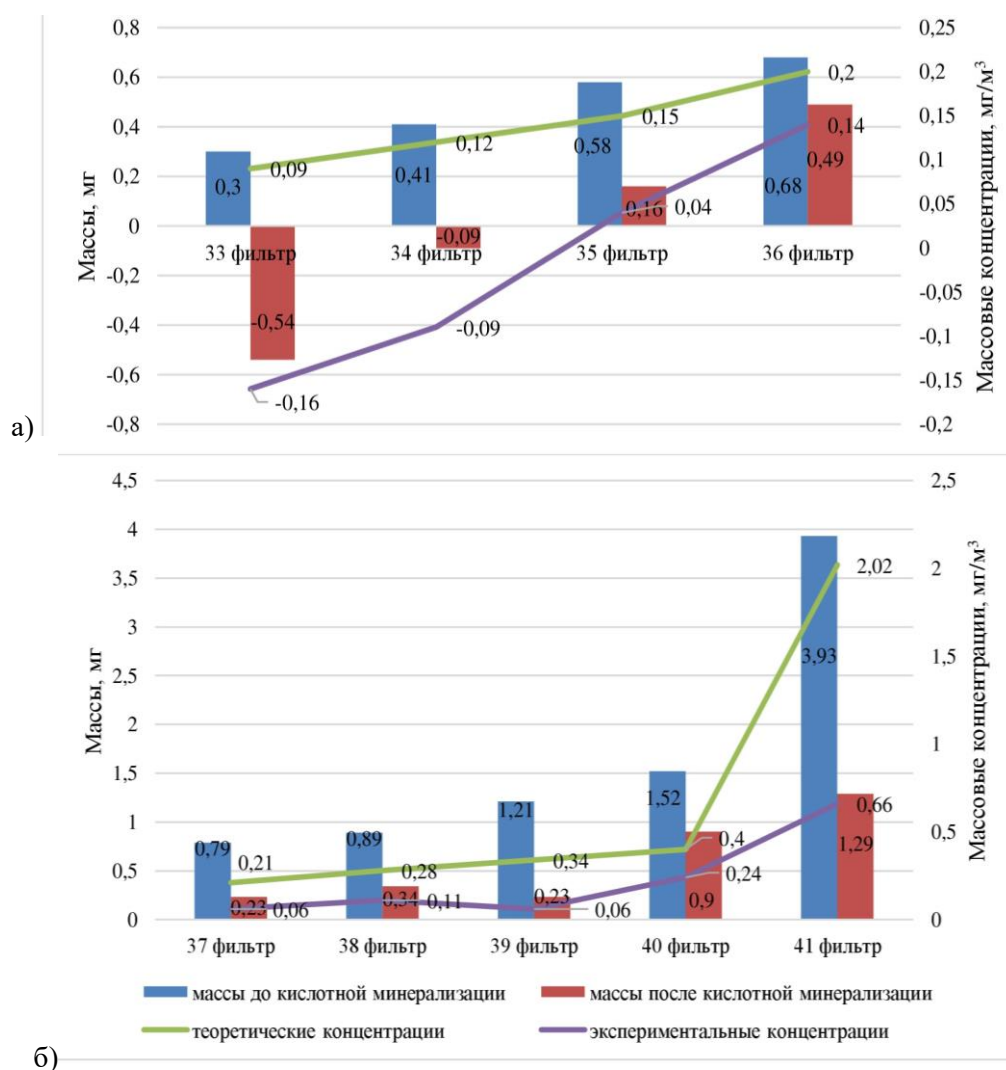


Рис. 3. Зависимость между массами и массовыми концентрациями для фильтров: а) № 33–36; б) № 37–41

Заключение

Полученный результат подтверждает ранее выдвинутую гипотезу: при малых навесках (<0,5–1 мг) методика показывает недостоверные результаты примерно в 30% случаев. При этом рабочий диапазон, указанный в методике (0,01– 42,0 мг/м³), соответственно, тоже может быть скорректирован с учетом полученных данных. Из сложностей работы с методикой можно выделить такие факторы, как трудоемкость (время анализа 3–5 фильтров может составлять

5–6 часов), а также отметить высокую себестоимость используемых реагентов и их потенциальное негативное воздействие на организм оператора. Заявленная в методике погрешность измерения составляет 25%, что существенно влияет на степень достоверности получаемых данных при анализе проб с малыми навесками, которые обычно фиксируются при отборе проб атмосферного воздуха на селитебных территориях.

Учитывая невозможность повторного пробоотбора, а также сложности, связанные с набором необходимого количества навески в ходе натурных измерений атмосферного воздуха, в целях повышения количества достоверных результатов предлагается скорректировать методику отбора проб для увеличения массы навески:

- 1) повысить скорость аспирации минимум до 200 дм³/мин;
- 2) увеличить время пробоотбора минимум до 30 мин.

Важно применять экспресс-метод полуколичественного анализа фильтрационного материала путем сопоставления степени почернения фильтра со шкалой, приготовленной из суспензии чистой сажи, так как исследуемое вещество (угольная пыль) аналогично саже по степени воздействия на фильтрационный материал.

Следует учитывать, что если привес на фильтре составляет менее 1 мг, то выполнение всего комплекса операций по МУК 4.3.3593-19 для определения угольной пыли нецелесообразно, соответственно, данные методические указания могут быть использованы в качестве референтной методики анализа.

Заявленный вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ворошилов Я.С., Фомин А.И. Современные методы измерения концентрации пыли // Современные тенденции и инновации в науке и производстве: Сборник материалов VIII международной научно-практической конференции, Междуреченск, 3–4 апреля 2019 г. Кемерово: КГТУ им. Т.Ф. Горбачева, 2019. С. 112.1–112.6. EDN: BLIQIX
2. Кириченко К.Ю., Холодов А.С., Вахнюк И.А., Гусев Д.С., Кирьянов А.В., Дрозд В.А., Голохваст К.С. Исследование загрязнения атмосферного воздуха мелкодисперсной угольной пылью (г. Находка, Приморский край) // Вестник Камчатского государственного технического университета. 2019. № 50. С. 6–13. DOI: 10.17217/2079-0333-2019-50-6-13
3. Кубрин С.С., Решетняк С.Н., Степанович, Дяттерев И.В. Анализ аппаратного обеспечения пылевого контроля угольных шахт // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2017. № 8. С. 46–52. DOI: 10.21440/0536-1028-2017-8-46-52
4. Лукьянов А.И. Основные источники воздействия портов на атмосферный воздух // Современные научные исследования и разработки. 2018. Т. 2, № 5(22). С. 677–679. EDN: UYSEFI
5. Прохорова Г.В. Гравиметрический анализ // Большая российская энциклопедия. URL: <https://bigenc.ru/chemistry/text/2374551> (дата обращения: 01.07.2022).
6. Субботина И.Е., Бувеч А.Г., Сергеев А.П., Баглаева Е.М., Семянников В.С., Дзвинко И.В. Дисперсный состав пыли приземного слоя атмосферы урбанизированной территории по данным экологического скрининга на примере города Екатеринбурга // Экологические системы и приборы. 2018. № 9. С. 3–10. DOI: 10.25791/esip.09.2018.159
7. Kholodov A.S., Lebedev A., Drozd V., Ugay S., Golokhvast K. Coal terminal in urban settlement Posyet (Primorsky krai, Russia) causes micro-sized pollution of the atmosphere. *E3s web of conferences*. 2018;41:02014. DOI: 10.1051/e3sconf/20184102014
8. Kholodov A.S., Golokhvast K.S. Complex research of the particles which cause air pollution by laser granulometry, Raman-spectrometry and IR-spectrometry. *Proc. SPIE, 15th Asia-Pacific Conference on Fundamental Problems of Opto- and Microelectronics (14 December 2016)*. Vol. 10176. Article ID: 101760N. DOI: 10.1117/12.2268229
9. Kirichenko K.Yu., Savranskiy V.B., Drozd V.A., Kholodov A.S., Golokhvast K.S. The study of pollution of atmospheric particulate matter with coal dust in Nakhodka city. *AIP Conference Proceedings*. 2017. Vol. 1874. Article ID: 040016. DOI: 10.1063/1.4998089

Original article

<http://doi.org/10.24866/2227-6858/2022-3/95-102>

Moskovaya I., Agoshkov A., Kruglova A.

IRINA V. MOSKOVAYA, Postgraduate Student, Senior Lecturer, moskovaya_iv@dvfu.ru
 ALEKSANDR I. AGOSHKOV, Doctor of Technical Sciences, Professor, agoshkov.ai@dvfu.ru
 ANASTASIA S. KRUGLOVA, Master Student
 Polytechnic Institute
 Far Eastern Federal University
 Vladivostok, Russia

On the issue of measuring the concentration of coal dust when monitoring the quality of atmospheric air

Abstract. The experience of determining the degree of pollution of the atmospheric air of populated areas with coal dust is analyzed, the problems of conducting an analysis of the dust content of atmospheric air in the area of coal transshipment are identified. An experiment was carried out to determine the amount of coal dust in the Nakhodka city according to the current accredited measurement methodology, problem areas of the experiment were identified, and measures were proposed to minimize the error of the method used.

Keywords: coal dust, air pollution, analysis methodology, gravimetric method, atmospheric air quality

For citation: Moscovaya I., Agoshkov A., Kruglova A. On the issue of measuring the concentration of coal dust when monitoring the quality of atmospheric air. *FEFU: School of Engineering Bulletin*. 2022;(3):95-102. (In Russ.).

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interest.

REFERENCES

1. Voroshilov Ya.S., Fomin A.I. Modern methods of measuring dust concentration. *Proceeding Conferences of Modern trends and innovations in science and production*. 2019. P. 112.1–112.6. (In Russ.). EDN: BLIQIX
2. Kirichenko K.Yu., Kholodov A.S., Vakhniuk I.A., Gusev D.S., Kiryanov A.V., Drozd V.A., Golokhvast K.S. Research of air pollution with fine coal dust (Nakhodka, Primorsky Krai). *Bulletin of the Kamchatka State Technical University*. 2019;(50):6–13. (In Russ.). DOI: 10.17217/2079-0333-2019-50-6-13
3. Kubrin S.S., Reshetnyak S.N., Stepanovich I.V., Dyagterev V.V. Hardware analysis of coal mines dust control. *Izvestiya vuzov. Gornyi zhurnal*. 2017;(8):46–52. (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2017-8-46-52
4. Lukyanov A.I. The main sources of the impact of ports on the atmospheric air. *Modern scientific research and development*. 2018;2(5):677–679. (In Russ.). EDN: UYSEFI
5. Prokhorova G.V. Gravimetric analysis. *Great Russian Encyclopedia. Electronic version*. URL: <https://bigenc.ru/chemistry/text/2374551> – 01.07.2022. (In Russ.).
6. Subbotina I.E., Buevich A.G., Sergeev A.P., Baglaeva E.M., Semyannikov V.S., Dzvinco I.V. Disperse composition of the dust in the ground layer of the urbanized area atmosphere according to the data of ecological screening on the example of Ekaterinburg city. *Ecological systems and devices*. 2018;(9):3–10. (In Russ.). DOI: 10.25791/esip.09.2018.159
7. Kholodov A.S., Lebedev A., Drozd V., Ugay S., Golokhvast K. Coal terminal in urban settlement Posyet (Primorsky krai, Russia) causes micro-sized pollution of the atmosphere. *E3s web of conferences*. 2018. DOI: 10.1051/e3sconf/20184102014
8. Kholodov A.S., Golokhvast K.S. Complex research of the particles which cause air pollution by laser granulometry, Raman-spectrometry and IR-spectrometry. *Proc. SPIE, 15th Asia-Pacific Conference on Fundamental Problems of Opto- and Microelectronics (14 December 2016)*. Vol. 10176. Article ID: 101760N. DOI: 10.1117/12.2268229
9. Kirichenko K.Yu., Savranskiy V.B., Drozd V.A., Kholodov A.S., Golokhvast K.S. The study of pollution of atmospheric particulate matter with coal dust in Nakhodka city. *AIP Conference Proceedings*. 2017. Vol. 1874. Article ID: 040016. DOI: 10.1063/1.4998089