

Научная статья  
УДК 504.3.054/504.75.05  
DOI: 10.37102/0869-7698\_2023\_230\_04\_10  
EDN: VVWRQV

## Анализ атмосферной взвеси рабочего поселка Ванино (Хабаровский край)

А.С. Холодов✉, К.Ю. Кириченко, А.М. Захаренко,  
И.А. Вахнюк, В.Н. Волкова, К.С. Голохваст

*Алексей Сергеевич Холодов*

кандидат географических наук, старший научный сотрудник  
Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток, Россия  
alex.holodov@gmail.com  
<https://orcid.org/0000-0001-6916-0596>

*Константин Юрьевич Кириченко*

кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник  
Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия  
Сибирский федеральный научный центр агробιοтехнологий РАН, р.п. Краснообск,  
Россия  
kirichenko2012@gmail.com  
<https://orcid.org/0000-0002-2715-3758>

*Александр Михайлович Захаренко*

кандидат химических наук, заместитель директора по научной работе  
Сибирский федеральный научный центр агробιοтехнологий РАН, р.п. Краснообск,  
Россия  
zakharenko@sfscs.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-9520-8271>

*Игорь Анатольевич Вахнюк*

младший научный сотрудник  
Сибирский федеральный научный центр агробιοтехнологий РАН, р.п. Краснообск,  
Россия  
vakhnyuk.ia@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-4530-2577>

*Владислава Николаевна Волкова*

кандидат технических наук, старший преподаватель  
Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия  
vladavibi@bk.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-9078-9858>

*Кирилл Сергеевич Голохваст*

доктор биологических наук, профессор РАН, член-корреспондент РАО, ведущий научный сотрудник

Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия

Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН, р.п. Краснообск, Россия

droopy@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-4873-2281>

**Аннотация.** Представлены результаты изучения атмосферной взвеси на территории поселка и порта Ванино, где ведется перегрузка угля и других сыпучих грузов. Количественный состав взвешенных в воздухе частиц измеряли ручным лазерным счетчиком частиц. Качественный состав взвесей анализировали методом рамановской спектроскопии в пробах смыва с хвои после ультразвуковой очистки. Основная масса проанализированных частиц во всех пробах представлена кальцитами и силикатами. В ряде проб обнаружены частицы угля (20–41,5 % от всех проанализированных в пробе частиц) и чернозема (0,5–2,5 %).

**Ключевые слова:** атмосферные взвеси, загрязнение атмосферного воздуха, РМ, угольная пыль, микрочастицы, Приморский край

**Для цитирования:** Холодов А.С., Кириченко К.Ю., Захаренко А.М., Вахнюк И.А., Волкова В.Н., Голохваст К.С. Анализ атмосферной взвеси рабочего поселка Ванино (Хабаровский край) // Вестн. ДВО РАН. 2023. № 4. С. 145–160. [http://dx.doi.org/10.37102/0869-7698\\_2023\\_230\\_04\\_10](http://dx.doi.org/10.37102/0869-7698_2023_230_04_10).

**Финансирование.** Работа выполнена в рамках Госзадания по теме № 4 при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ № 19-05-50010.

Original article

## The analysis of particulate matter in Vanino settlement (Khabarovsk Territory, Russia)

A.S. Kholodov, K.Yu. Kirichenko, A.M. Zakharenko, I.A. Vakhniuk,  
V.N. Volkova, K.S. Golokhvast

*Aleksei S. Kholodov*

Candidate of Science in Geography, Senior Researcher

Far East Geological Institute FEB RAS, Vladivostok, Russia

[alex.holodov@gmail.com](mailto:alex.holodov@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0001-6916-0596>

*Konstantin Yu. Kirichenko*

Candidate of Science in Biology, Leading Researcher

Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnology RAS, Krasnoobsk village, Russia

[kirichenko2012@gmail.com](mailto:kirichenko2012@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0002-2715-3758>

*Alexander M. Zakharenko*

Candidate of Science in Chemistry, Deputy Director for Science

Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnology RAS, Krasnoobsk village, Russia  
zakharenko@sfsca.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-9520-8271>

*Igor A. Vakhniuk*  
Junior Researcher  
Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnology RAS, Krasnoobsk village, Russia  
vakhnuyk.ia@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-4530-2577>

*Vladislava N. Volkova*  
Candidate of technical sciences, Senior Lecturer  
Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia  
vladavibi@bk.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-9078-9858>

*Kirill S. Golokhvast*  
Doctor of Science in Biology, Professor of the Russian Academy of Sciences, Corresponding  
Member of the Russian Academy of Education, Leading Researcher  
Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia  
Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnology RAS, Krasnoobsk vilage, Russia  
droopy@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-4873-2281>

**Abstract.** The paper presents the results of the study of airborne particulate matter (PM) in the settlement and port of Vanino, a coal-handling site. The quantitative composition of PM was measured with a handheld laser beam particle counter. The qualitative composition was analyzed by Raman spectroscopy in washout samples from conifers, obtained using ultrasonic washing of conifer needles surface. The main mass of the analyzed particles in all samples was represented by calcite and silicate. Coal and alumina particles were found in a number of samples (20-41.5 % and 0.5-2.5 % of all particles analyzed in the sample, respectively).

**Keywords:** airborne particulate matter, air pollution, PM, coal dust, microparticles, Primorsky Territory

**For citation:** Kholodov A.S., Kirichenko K.Yu., Zakharenko A.M., Vakhniuk I.A., Volkova V.N., Golokhvast K.S. The analysis of particulate matter in Vanino settlement (Khabarovsk Territory, Russia). *Vestnik of the FEB RAS*. 2023;(4):145-160. [http://dx.doi.org/10.37102/0869-7698\\_2023\\_230\\_04\\_10](http://dx.doi.org/10.37102/0869-7698_2023_230_04_10).

**Funding.** The reported study was carried out within the framework of the State Assignment (project No. 4) with partial financial support by RFBR, project number 19-05-50010.

## Введение

Крупные угольные терминалы оказывают существенное влияние на экологию, в первую очередь на состав атмосферных взвесей, загрязняя их угольной пылью – одним из серьезнейших поллютантов. Над решением этой и сопутствующих проблем работают ученые всего мира, привлекая самые современные экспериментальные средства. Например, методами гравиметрии и газожидкостной хроматографии в Испании в порту Таррагоны было показано, что высокое содержание углерода в составе пыли четко указывает на угольные кучи в районе портового склада сыпучих материалов как источник загрязнения [1]. Опасность угольной пыли и эффективные меры по ее сокращению в порту Хуанхуа Китайской Народной Республики представлены авторами из Тяньцзиньского университета и

Корпорацией управления портом Шэньхуа Хуанхуа [2]. В угледобывающем районе Джария, Индия, проанализированы образцы угольной пыли на наличие тяжелых металлов и минералов с помощью методов атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой, дифракционного рентгеновского анализа и сканирующей электронной микроскопии; отмечено негативное воздействие загрязнителя на окружающую среду [3]. Были собраны образцы пыли вблизи различных угольных шахт в Черате, Пакистан, и проанализированы концентрации потенциально вредных веществ [4].

В углях могут содержаться свыше 20 токсичных и потенциально токсичных элементов (Hg, As, Sb, Cd, Pb и др.) [5, 6]. Угольная пыль может быть причиной целого ряда хронических респираторных заболеваний, включая пневмокониоз, бронхит и др. [7, 8]. В целом вклад загрязнения воздуха в частоту и выраженность наиболее распространенных заболеваний системы органов дыхания, пищеварения, кожи, аллергических реакций и т.д. достигает до 30 % от общей суммы факторов, влияющих на здоровье [9, 10]. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), в 2016 г. 24 % всех случаев смерти от инсульта, 25 % – болезни и смерти от ишемической болезни сердца, 28 % – болезни и смерти от рака легких и 43 % всех случаев болезни и смерти от хронической обструктивной болезни легких были связаны с загрязнением атмосферного воздуха [11, 12]. Помимо этого, существует статистически установленная связь между содержанием в воздухе взвешенных частиц (PM – particulate matter) и заболеваемостью и смертностью населения [13].

В последние годы непрерывно растет экспорт российского угля в страны Азиатско-Тихоокеанского региона, в том числе через дальневосточные порты, изначально не приспособленные для отгрузки пылящих грузов. Перевалка ведется открытым способом, что загрязняет угольной пылью воздух, воду, почву граничащих с транспортными терминалами территорий. Это относится в полной мере к рабочему поселку Ванино в Хабаровском крае – крупному транспортному узлу, связывающему Байкало-Амурскую железнодорожную магистраль с портовой инфраструктурой порта Ванино, расположенного на берегу бухты Ванина. Порт Ванино в основном перепрофилирован на экспорт угля в страны АТР. Растущие объемы перевалки угля открытым способом усиливают антропогенное воздействие на окружающую среду [14]. В портах Восточный, Ванино и Усть-Луга перегружается более 50 % от общего объема угля в морских портах России, объемы пылевыделений и пылеуноса зависят от местных метеоусловий, степени защищенности, технологии перегрузки и качества угля [15].

Данный фактор обуславливает важную социальную и экологическую роль постоянного мониторинга загрязнения атмосферного воздуха для своевременного принятия мер, направленных на снижение негативного воздействия угольной пыли на окружающую среду. В Дальневосточном регионе в основном исследуют промышленные методы борьбы с угольной пылью [15, 16], а данных о концентрациях и составе взвешенных частиц в портовых населенных пунктах недостаточно. По этой причине было принято решение о проведении исследования содержания твердых взвешенных частиц в атмосферном воздухе порта и поселка Ванино. Основной целью нашего исследования являлась верификация воздействия деятельности порта Ванино как источника загрязняющих выбросов. Дополнительной целью была апробация комплекса методов изучения концентраций и состава пылевых частиц при выявлении источников загрязнения атмосферного воздуха:

инструментальное измерение количественного состава взвешенных в воздухе частиц и отбор хвои с древесной растительности с последующим анализом смыва с игл хвои методом рамановской спектроскопии.

### Объект и методы исследования

На рис. 1 представлена динамика перевалки грузов в порту Ванино. Исходя из оценки экономических эффектов для региона от реализации угольных проектов в порту Ванино, произведен расчет [17], согласно которому на 2025 г. ожидается перевалка 71 млн т грузов, а на 2030 г. – 73 млн т, при этом 90 % от плановых показателей составит уголь. По данным открытой печати (<https://www.kommersant.ru/doc/4917975>), перевалка угля в Ванинском морском торговом порту в 2020 г. составила 4,55 млн т, что меньше по сравнению с более ранним периодом. В порту Ванино преобладающий ветер в летний период направлен в сторону поселка [18].

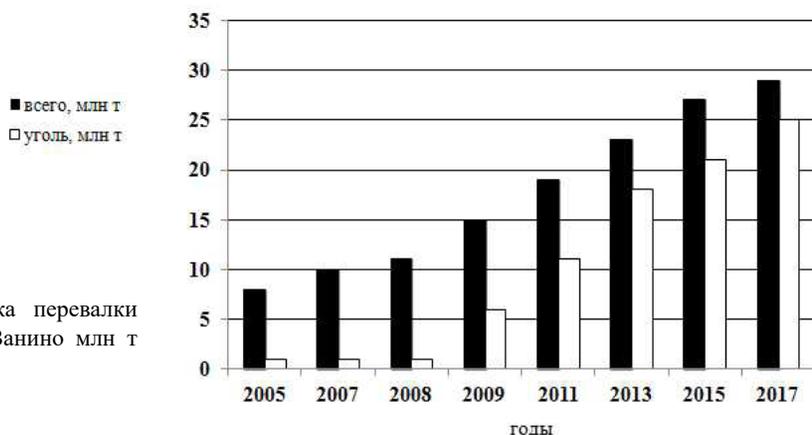


Рис. 1. Динамика перевалки грузов в порту Ванино млн т (цит. по: [17])

Таблица 1

#### Описание и координаты точек измерения количественного состава взвешенных частиц в воздухе в пос. Ванино

№	Описание точки измерения	Координаты / Высота над ур. м.
<b>Порт</b>		
1	Южная проходная	49°05'04,4"N 140°16'32,0"E / 3 м
2	Производственно-перегрузочный комплекс 3 (ППК-3)	49°04'56,5"N 140°16'16,3"E / 7 м
3	Управление ППК-3	49°04'43,9"N 140°16'03,8"E / 5 м
4	База технического обслуживания	49°04'40,2"N 140°15'35,1"E / 4 м
5	Портовый флот	49°04'45,6"N 140°15'44,2"E / 4 м
6	12 причал	49°04'54,2"N 140°15'53,7"E / 6 м
7	Управление ОППК-1	49°05'09,9"N 140°16'06,8"E / 7 м
8	Главная диспетчерская порта	49°05'26,7"N 140°16'29,8"E / 5 м
9	Склад порта	49°05'37,5"N 140°16'53,9"E / 16 м
<b>Поселок</b>		
10	Пер. Госпитальный, д. 5	49°05'47,3"N 140°17'10,5"E / 50 м
11	Ул. Молодежная, д. 15	49°05'39,8"N 140°15'26,2"E / 59 м
12	Ул. Суворова, д. 2	49°05'32,3"N 140°15'05,9"E / 84 м
13	Ул. Карпатская, д. 5	49°05'16,3"N 140°15'10,7"E / 69 м
14	Дом культуры	49°04'59,9"N 140°15'39,8"E / 65 м

Пробы для анализа концентраций атмосферной взвеси отбирали в 21 точке непосредственно вблизи портовых сооружений, в жилых кварталах, а также на удалении от пос. Ванино (фоновая точка). В летний период 2020 г. проводили инструментальное измерение количественного состава (счетной концентрации) взвешенных в воздухе частиц с помощью ручного лазерного счетчика (14 точек, см. рис. 2, табл. 1), а также отбор хвои с деревьев для последующего анализа смыва с нее [19] твердых частиц (7 точек, см. рис. 3, табл. 2).

Таблица 2

Описание и координаты точек отбора проб хвои в пос. Ванино

№	Описание точки отбора	Координаты / Высота над ур. м.
Порт		
X5	Главная диспетчерская порта	49°05'26,7"N 140°16'29,8"E / 5 м
X6	Портовый флот	49°04'45,6"N 140°15'44,2"E / 4 м
X7	ОППК-1, порт	49°05'02,4"N 140°15'58,8"E / 7 м
Поселок		
X1	Дом культуры	49°04'59,9"N 140°15'39,8"E / 65 м
X3	Пер. Госпитальный, д. 5	49°05'47,3"N 140°17'10,5"E / 50 м
X4	Ул. Карпатская, д. 5	49°05'16,3"N 140°15'10,7"E / 69 м
X2 (фоновая точка)	Ванинский район, автодорога Лидога–Ванино	49°03'40,7"N 140°13'01,3"E / 25 м



Рис. 2. Точки инструментального измерения количественного состава (счетной концентрации) взвешенных в воздухе частиц с помощью ручного лазерного счетчика в пос. Ванино



Рис. 3. Точки отбора проб хвои в пос. Ванино

### **Измерение количественного состава (счетной концентрации) взвешенных в воздухе частиц**

Для измерения количественного состава взвешенных частиц использовали ручной лазерный счетчик частиц AeroTrak Handheld Particle Counter 9306 (TSI Inc., США), соответствующий требованиям ISO 21501-4. Принцип действия счетчика основан на регистрации рассеянного оптического излучения, в качестве источника света используется полупроводниковый лазерный диод. Прокачка анализируемой пробы осуществляется встроенным вакуумным насосом. Подсчет частиц производится одновременно в 6 размерных диапазонах от 0,3 до 25 мкм, в нашем исследовании – в стандартных диапазонах, мкм: <0,3, 0,3–0,5, 0,5–1, 1–3, 3–5, 5–10. Допускаемая относительная погрешность счетной концентрации прибора составляет  $\pm 20\%$ .

В каждой точке воздух отбирали на высоте 1,5 м, т.е. примерно на уровне органов дыхания человека, со скоростью 2,83 л/мин. Проводили по 3 измерения длительностью 1 мин каждое. Средние значения концентраций взвешенных частиц рассчитаны с помощью программного пакета STATISTICA STATISTICA 10 (StatSoft, Inc., США).

### **Отбор и подготовка к анализу проб хвои**

Известно, что хвоя удерживает на поверхности мелкодисперсные атмосферные взвеси и может служить индикатором состояния атмосферного воздуха [20, 21]. Хвою собирали с деревьев на высоте 1–1,5 м, помещали в промытые дистиллированной водой ПЭТ-контейнеры и транспортировали в лабораторию НОЦ «Нанотехнологии» Политехнического института ДВФУ для дальнейших исследований.

При подготовке проб был использован ультразвуковой метод смыва с хвои, неоднократно апробированный ранее при анализе атмосферных взвесей [19, 22]. Образцы хвои погружали в емкость с дистиллированной водой и обрабатывали 5 мин ультразвуком с помощью ультразвукового гомогенизатора Sonopulse 3100 HD (Bandelin Electronic, Германия), частота 22 кГц, мощность 100 Вт.

Для получения сухого осадка смыв с хвои пропускали через фильтр Millipore с диаметром ячеек 0,22 мкм и высушивали фильтр в сушильном шкафу.

### **Анализ смыва с проб хвои методом рамановской спектроскопии**

Метод позволяет определить размер и основной химический состав каждой отдельно взятой частицы в навеске путем сравнения ее спектров с эталонными спектрами из баз данных [23, 24]. Использование микрорамановской спектроскопии позволяет идентифицировать, например, различные минеральные фазы в обычном портландцементе без специальной подготовки образца [25]. С помощью специального программного обеспечения для анализа химической корреляции установлена доля контрольного вещества в составе отобранных атмосферных взвесей.

Всего в автоматическом режиме на анализаторе частиц Morphologi G3-ID (Malvern Instruments Ltd., Великобритания) было изучено по 100 000 частиц в каждой пробе. Затем «снимали» спектры 200 частиц диаметром от 5 до 10 мкм в ручном режиме и 400 частиц диаметром 20–25 мкм в автоматическом режиме.

### **Результаты и обсуждение**

#### ***Количественный состав взвешенных в воздухе частиц***

Полученные результаты инструментального измерения количественно содержания взвешенных частиц в атмосферном воздухе пос. Ванино свидетельствуют об абсолютном преобладании частиц мельчайшей измеренной фракции (табл. 3). Мельчайшие частицы промышленных аэрозолей способны проникать глубоко в органы дыхания человека и далее распространяться по организму, являясь причиной развития хронических заболеваний. Количество частиц фракции менее 0,3 мкм в среднем в несколько тысяч раз превышает количество частиц фракции  $PM_{10}$ . Наибольшее количественное содержание взвешенных частиц выявлено в порту, в центре поселка и рядом с частным сектором.

Порт разделен на 2 зоны, расположенные по разным берегам акватории. Содержание взвешенных частиц в воздухе большей, западной зоны было выше, чем восточной, вероятно из-за перегрузки чернозема, ведшейся во время сбора материала.

Судя по средним значениям, приведенным в табл. 3, в воздухе над портом количество взвешенных частиц из фракций  $PM_{0,3}$ ,  $PM_1$  и  $PM_3$  выше, чем над поселком, по остальным фракциям наблюдается обратная картина. То есть способные проникать глубоко в органы дыхания, преодолевая защитные барьеры организма, мельчайшие фракции частиц преобладают в воздухе вблизи источника его загрязнения.

Таблица 3

**Количество взвешенных частиц в 1 м<sup>3</sup> атмосферного воздуха  
в пос. Ванино**

№ точки отбора	Размерная фракция					
	PM <sub>0,3</sub>	PM <sub>0,5</sub>	PM <sub>1</sub>	PM <sub>3</sub>	PM <sub>5</sub>	PM <sub>10</sub>
Порт						
1	78 742	10 562	2410	774	391	77
2	136 616	8727	1670	507	248	57
3	69 698	6978	2245	594	265	57
4	82 109	5960	922	264	125	18
5	67 164	5420	915	231	113	18
6	202 861	13 990	4031	1236	609	105
7	72 486	6621	1533	366	158	24
8	74 692	6477	986	229	102	19
9	81 403	16 582	9187	2982	1281	134
Среднее	96 197	9035	2655	798	366	57
Поселок						
10	106 820	9586	1022	189	84	22
11	81 450	11 955	4646	1566	738	118
12	90 849	11 248	2134	549	273	58
13	107 082	9143	2291	667	343	53
14	78 831	7805	2444	876	448	95
Среднее	93 006	9947	2507	769	377	69

***Анализ высушенного смыва с проб хвои  
методом рамановской спектроскопии***

Качественный анализ 7 проб смыва с хвои позволил разделить их на 3 группы: 1) X1, X2, X6, X7 (южная часть поселка, территория порта, а также фоновая точка на удалении от поселка), 2) X5 (северная часть порта), 3) X3 и X4 (селитебная зона). Дендрограмма сходства по размерам частиц приведена на рис. 4. Математический обсчет сходства проб был выполнен на программном обеспечении анализатора частиц Morphologi Ver. 8.20 (Malvern Panalytical, Англия). При кластеризации частиц использовали параметры среднего диаметра фракций и процентного распределения различных размерных фракций внутри пробы.

На рис. 5 приведен график распределения частиц по размерам, полученный в программном обеспечении анализатора частиц. На нем видно, что в пробах на территории поселка (X3 и X4) существенно меньшее (чем в остальных пробах) количество частиц размером 1–5 мкм, а преобладают частицы с размерами 0,2 мкм и менее. Это может свидетельствовать о том, что они находятся рядом с источниками мелких аэрозолей.

Для сравнения химического состава проб в ходе лабораторных исследований снимали рамановские спектры наиболее распространенной в пробе группы частиц и сравнивали с 347 имеющимися в библиотеке спектрами углей и основных минералов (кальцитов, апатитов, глиноземов (корундов), фаялитов, хризобериллов, гидроксипатитов, цирконов, энстатитов, флюоритов, лазуритов, кварцев, цеолитов, азуритов, сердоликов, геденбергитов, галенитов, андрадитов и др.).

Химический анализ выборки из 200 частиц для каждой пробы см. в табл. 4.

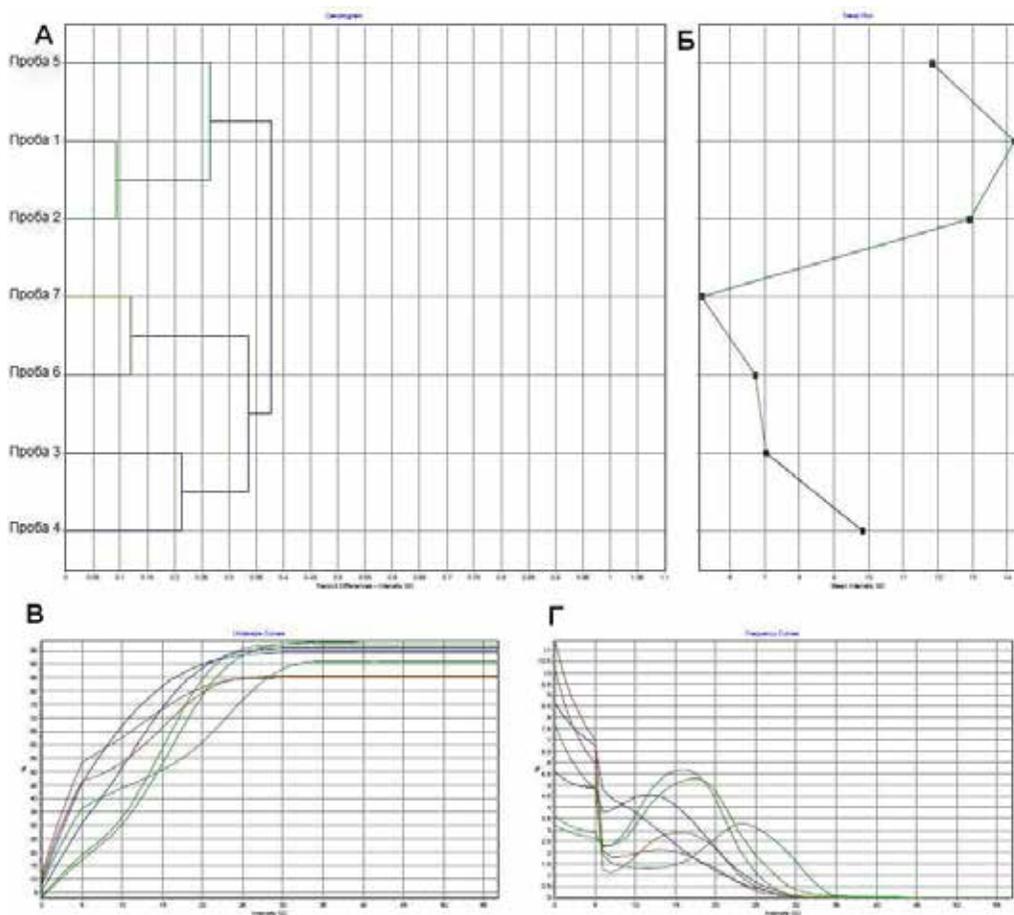


Рис. 4. Дендрограмма сходства частиц в высушенном смыве из проб хвои на территории поселка по размерным критериям. А – дендрограмма сходства, Б – медианные значения размеров частиц в пробах, В – интегральные кривые содержания частиц разных размеров для каждой пробы, Г – процентное распределение частиц разных размеров в пробах

Таблица 4  
Химический анализ частиц по данным рамановской спектроскопии

№ пробы	Массовая доля частиц, %			
	угля	минералов		
		всего	кальцитов	глинозема
X1 (поселок)	3,5	96,5	33,5	0,0
X2 (фон)	6,0	94,0	30,0	0,0
X3 (поселок)	0,5	99,5	28,0	0,5
X4 (поселок)	1,0	99,0	17,0	0,0
X5 (порт)	41,5	58,5	24,5	2,5
X6 (порт)	21,5	78,5	27,0	0,0
X7 (порт)	20,0	80,0	22,0	1,5

Основная масса проанализированных частиц во всех пробах представлена кальцитами и силикатами. Наибольшая доля частиц угля (20–41,5 %) обнаружена в пробах, которые были отобраны в порту, в точках, наиболее приближенных

Analysis	
SOP Analysis: 3.0	SOP Fill Holes: True
SOP Segmentation: None	SOP Trash Size: 10
SOP Optic(s) used: 50x	Particles Counted: 100000
Result	
CE Diameter Minimum ( $\mu\text{m}$ ): 0.22	CE Diameter D[n, 0.1] ( $\mu\text{m}$ ): 0.23
CE Diameter Maximum ( $\mu\text{m}$ ): 98.51	CE Diameter D[n, 0.5] ( $\mu\text{m}$ ): 3.63
CE Diameter Mean ( $\mu\text{m}$ ): 6.38	CE Diameter D[n, 0.9] ( $\mu\text{m}$ ): 16.39
CE Diameter STDV ( $\mu\text{m}$ ): 8.17	CE Diameter RSD (%): 128.06

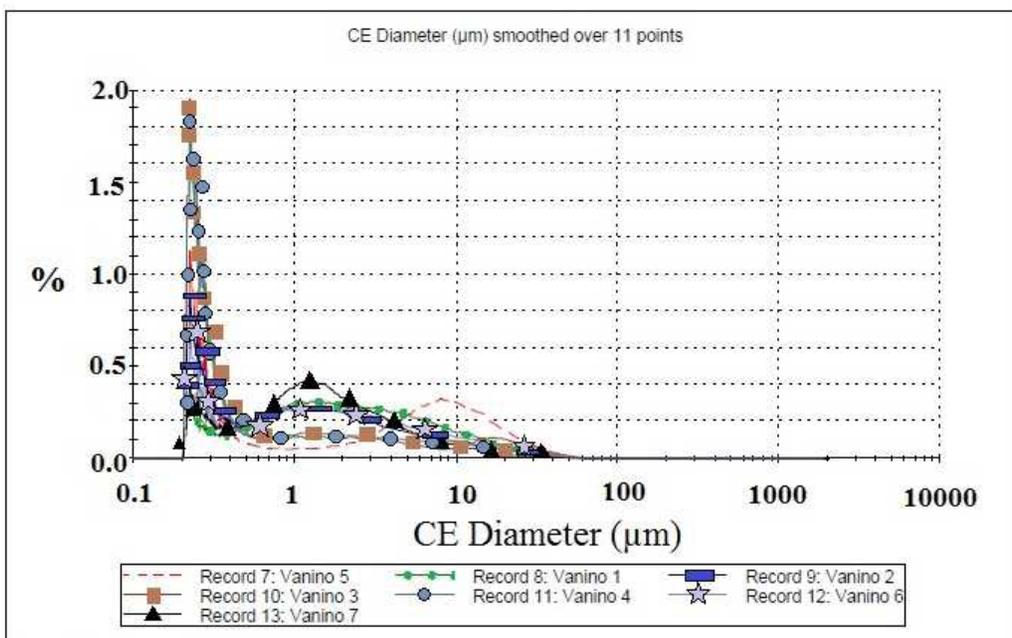


Рис. 5. Графики распределения частиц по размерам в высушенном смыве с хвоя

к источнику загрязнения. В тех же пробах в незначительных количествах были обнаружены частицы глинозема. Основные раман-спектры частиц приведены на рис. 6.

Исходя из результатов сравнения проб по размерным критериям (рис. 4) и диаграмм рассеивания частиц (рис. 7) можно подтвердить, что точка отбора X5 (северная часть порта) находится в наибольшей близости к источнику угольных частиц, поскольку на диаграмме рассеивания видно, что преобладают крупные частицы (10 мкм и более). При этом группа частиц с размерами около 1 мкм незначительна, но в то же время велика доля частиц с размерами около 0,5 мкм. В пробах с точек X6 и X7 (южная часть порта), напротив, заметно преобладание частиц (в том числе угля) с размерами порядка 1 мкм, которые могут переноситься на десятки километров, что свидетельствует об удаленности их источника [26].

Таким образом, наблюдается сходимость результатов замеров количественного состав взвешенных в воздухе твердых частиц и изучения высушенного смыва с

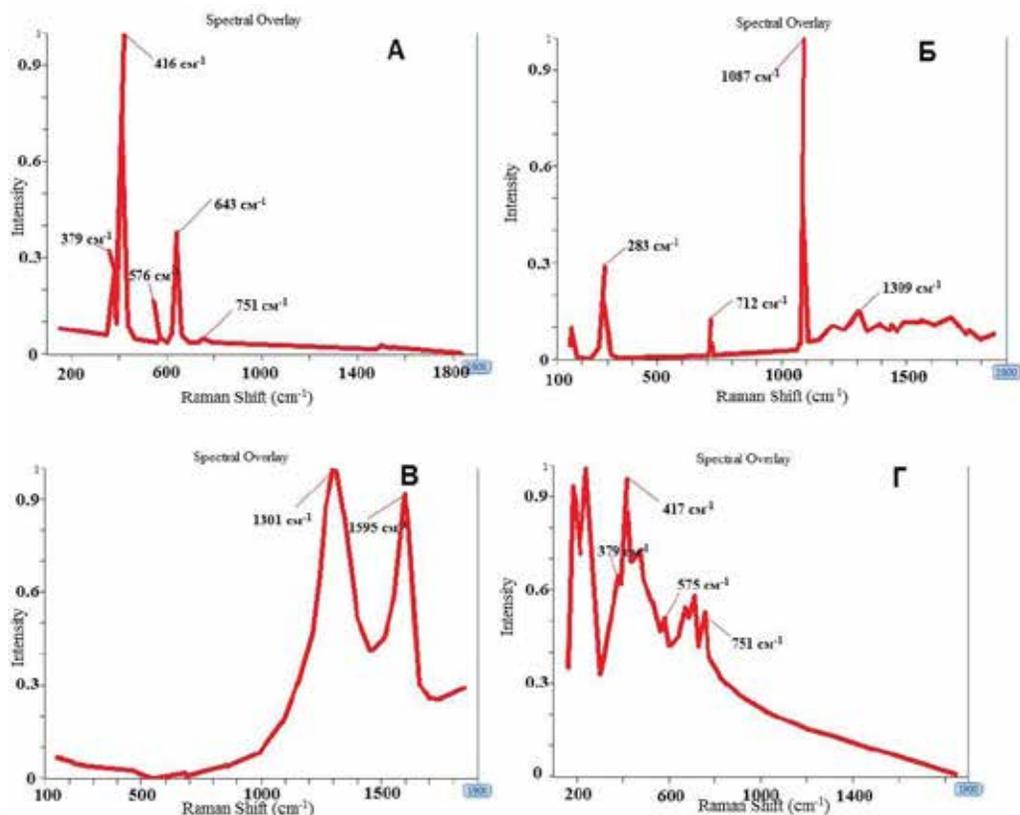


Рис. 6. Анализ и сопоставление частиц взвесей из высушенного смыва с хвои. Раман-спектры: *A* – глинозем (стандарт), *Б* – кальцит (стандарт), *В* – уголь (стандарт), *Г* – глинозем (из пробы X5 – северная часть порта) Spectral Overlay

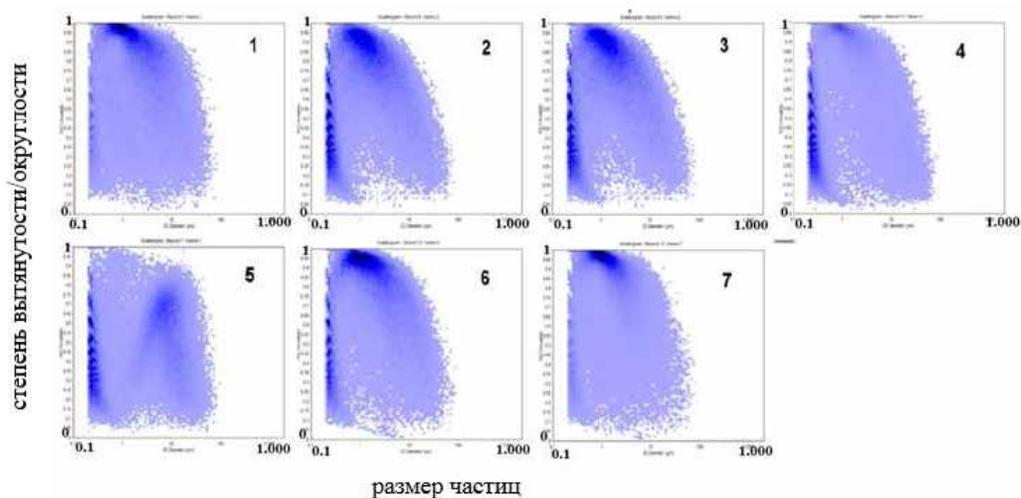


Рис. 7. Диаграммы рассеивания частиц в высушенном смыве с хвои в зависимости от размера (оси абсцисс) и степени вытянутости/округлости (оси ординат). Номера на рисунках соответствуют номерам проб хвои (1 – это X1, и т.д.)

поверхности хвои. Оба способа измерений, дополняя друг друга, свидетельствуют о высоких уровнях мелкодисперсных частиц атмосферной взвеси в районе порта и в центре поселка. Согласно проведенному моделированию распространения взвеси угольной пыли при хранении и погрузочно-разгрузочных работах в порту Ванино [14], при определенных условиях (работа двух складов, двух дробильно-сортировочных установок и двух грейферов) максимальные приземные концентрации пыли в жилой зоне будут превышать ПДК. Кроме того, при анализе проб снега из пос. Ванино на состав тяжелых металлов [27] в 2022 г. было отмечено повышенное содержание пыли в снегу, причем на расстоянии 200 м от терминала визуально зафиксированы угольные частицы, содержание тяжелых металлов было высоко во всех пробах за исключением «фоновой». Наши измерения, проведенные в летний период, показали высокое содержание в воздухе мелкодисперсной фракции взвеси, но при этом довольно низкое содержание в ней частиц угля, что, вероятно, связано с небольшими объемами перевалки угля в период проведения замеров.

### Заключение

Максимальный уровень взвешенных в воздухе частиц наблюдается в точках, расположенных в центре пос. Ванино, рядом с частным сектором и в порту.

По данным изучения смыва с хвои, основными компонентами изученных взвесей являются частицы кальцитов и силикатов. Кроме того, в точках отбора проб в порту были обнаружены угольные частицы (от 20 до 41,5 % всех проанализированных частиц в пробах), в некоторых пробах – небольшая доля частиц чернозема. Отсутствие частиц чернозема в других точках, вероятно, связано с его большой плотностью и быстрым оседанием.

При рассмотрении проб атмосферных взвесей выявлено абсолютное преобладание частиц с размерностью до 0,5 мкм. С санитарно-гигиенической точки зрения частицы данного размерного ряда являются наиболее опасными для здоровья человека.

Необходима система постоянного экологического наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха частицами угольной пыли вблизи угольных терминалов в пос. Ванино. Это может быть сеть датчиков, которая позволит ежедневно получать точные данные о содержании в воздухе взвешенных частиц гигиенически наиболее значимых фракций  $PM_{2,5}$  и  $PM_{10}$ . Имея такие данные, можно будет оперативно реагировать на превышение ПДК содержания в атмосферном воздухе взвешенных частиц и принимать своевременные решения по снижению негативного воздействия на окружающую среду.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Rovira J., Schuhmacher M., Nadal M., Domingo J.L. Contamination by coal dust in the neighborhood of the Tarragona harbor (Catalonia, Spain): A preliminary study // *The Open Atmospheric Science Journal*. 2018. Vol. 12. P. 14–20.
2. Zhao D., Wang T., Han H. Approach towards sustainable and smart coal port development: the case of Huanghua port in China // *Sustainability*. 2020. Vol. 12, iss. 9. Article number: 3924.
3. Rout T.K., Mastro R.E., Padhy P.K. et al. Dust fall and elemental flux in a coal mining area // *Journal of Geochemical Exploration*. 2014. Vol. 144. P. 443–455.

4. Ishtiaq M., Jehan N., Khan S.A. et al. Potential harmful elements in coal dust and human health risk assessment near the mining areas in Cherat, Pakistan // *Environmental Science and Pollution Research*. 2018. Vol. 25, iss. 15. P. 14666–14673.
5. U.S. National Committee for Geochemistry. Trace-Element geochemistry of coal resource development related to environmental quality and health. Washington: National Academy Press, 1980. 158 p.
6. Зарубина Н.В., Блохин М.Г., Остапенко Д.С. и др. Аналитические подходы к количественному определению содержания химических элементов в углях и углистых породах с использованием методов ИСП-МС и ИНАА // *Изв. Том. политехн. ун-та. Инжиниринг георесурсов*. 2021. Т. 332, № 3. С. 99–112.
7. Petsonk E.L., Rose C., Cohen R. Coal mine dust lung disease. New lessons from old exposure // *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. 2013. Vol. 187, iss. 11. P. 1178–1185.
8. Laney A.S., Weissman D.N. Respiratory diseases caused by coal mine dust // *Journal of Occupational and Environmental Medicine*. 2014. Vol. 56, iss. 10S. P. 18–22.
9. Гильмуллин В.М., Казанцева Л.К., Тагаева Т.О., Кугаевская К.С. Влияние загрязнения окружающей среды на здоровье населения регионов России // *Регион: экономика и социология*. 2013. № 1. С. 209–228.
10. Кикю П.Ф., Бениова С.Н., Гельцер Б.И. Среда обитания и экологозависимые заболевания человека. Владивосток: Дальневост. федер. ун-т, 2017. 390 с.
11. Неинфекционные заболевания и загрязнение атмосферного воздуха: Европейская конференция ВОЗ высокого уровня по неинфекционным заболеваниям. Ашхабад, Туркменистан, 9–10 апреля 2019 г. Всемирная организация здравоохранения. Европейское региональное бюро, 2019. 12 с. URL: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/346418/WHO-EURO-2019-3641-43400-60938-rus.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (дата обращения: 12.05.2023)
12. Prüss-Ustün A., van Deventer E., Mudu P. et al. Environmental risks and non-communicable diseases // *BMJ*. 2019. Vol. 364. Article number: 1265.
13. Chen J., Hoek G. Long-term exposure to PM and all-cause and cause-specific mortality: A systematic review and meta-analysis // *Environment International*. 2020. Vol. 143. Article number: 105974.
14. Майорова Л.П., Лукьянов А.И., Дахова Е.В. Моделирование распространения взвеси угольной пыли при хранении и погрузочно-разгрузочных работах в портах (на примере порта Ванино) // *Инновации и инвестиции*. 2021. № 7. С. 89–94.
15. Агошков А.И., Московская И.В. Проблемы охраны труда и защиты окружающей среды на морских угольных терминалах Дальневосточного региона // *Безопасность как фактор устойчивого развития общества: сб. науч. тр. Симферополь: Ариал, 2019. С. 10–17.*
16. Зеленский И.Р., Хроменок Д.В., Деревцова К.В. Сравнительный анализ промышленных методов борьбы с угольной пылью в морских портах Дальнего Востока // *Наука и бизнес: пути развития*. 2020. № 10. С. 41–43.
17. Заостровских Е.А. Угольные порты Ванино и Восточный и их влияние на экономику региона // *Проблемы развития территории*. 2020. № 1. С. 78–92. DOI: 10.15838/ptd.2020.1.105.6.
18. Старостина И.С., Шевцов М.Н. Ваннинский морской торговый порт и его влияние на окружающую среду // *Новые идеи нового века: материалы междунар. науч. конф. ФАД ТОГУ. Хабаровск: Тихоокеан. гос. ун-т, 2016. Т. 3. С. 353–358.*
19. Козинцев В.В., Дрозд В.А., Середкин И.В. и др. Ультразвуковой смыв с хвои как новый достоверный способ исследования микроразмерного загрязнения атмосферы // *Бюл. физиологии и патологии дыхания*. 2017. № 65. С. 90–93.
20. Freer-Smith P.H., Beckett K.P., Taylor G. Deposition velocities to *Sorbus aria*, *Acer campestre*, *Populus deltoides* X *trichocarpa* ‘Beaupré’, *Pinus nigra* and *X Cupressocyparis leylandii* for coarse, fine and ultra-fine particles in the urban environment // *Environmental Pollution*. 2005. Vol. 133, N 1, P. 157–167.
21. Zhang W., Wang B., Niu X. Relationship between leaf surface characteristics and particle capturing capacities of different tree species in Beijing // *Forests*. 2017. Vol. 8, N 3. Article number: 92.
22. Kholodov A.S., Tarasenko I.A., Zinkova E.A. et al. The study of airborne particulate matter in Dalnegorsk town // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021. Vol. 18. Article number: 9234.
23. Ault A.P., Axson J.L. Atmospheric aerosol chemistry: spectroscopic and microscopic advances // *Analytical Chemistry*. 2017. Vol. 89. P. 430–452.
24. Kholodov A.S., Golokhvast K.S. Complex research of the particles which cause air pollution by laser granulometry, Raman-spectrometry and IR-spectrometry // *Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering*. 2016. Vol. 10176. Article number: 101760N.

25. Potgieter-Vermaak S.S., Potgieter J.H., Belleil M. et al. The application of Raman spectrometry to the investigation of cement. Part II: A micro-Raman study of OPC, slag and fly ash // *Cement and Concrete Research*. 2006. Vol. 36. P. 663–670.

26. Lin Y., Zou J., Yang W., Li C.-Q. A review of recent advances in research on PM<sub>2.5</sub> in China // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2018. Vol. 15, N 3. Article number: 438.

27. Лукьянов А.И., Дахова Е.В., Майорова Л.П. Оценка загрязнения снежного покрова тяжелыми металлами как один из методов мониторинга атмосферного воздуха на примере населенных пунктов Дальнего Востока // *Вестн. РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности*. 2022. Т. 30, № 3. С. 407–416. DOI: 10.22363/2313-2310-2022-30-3-407-416.

## REFERENCES

1. Rovira J., Schuhmacher M., Nadal M., Domingo J.L. Contamination by coal dust in the neighborhood of the Tarragona harbor (Catalonia, Spain): A preliminary study. *The Open Atmospheric Science Journal*. 2018;12:14-20.

2. Zhao D., Wang T., Han H. Approach towards sustainable and smart coal port development: the case of Huanghua port in China. *Sustainability*. 2020;12(9):3924.

3. Rout T.K., Mastro R.E., Padhy P.K. et al. Dust fall and elemental flux in a coalmining area. *Journal of Geochemical Exploration*. 2014;144:443-455.

4. Ishtiaq M., Jehan N., Khan S.A. et al. Potential harmful elements in coal dust and human health risk assessment near the mining areas in Cherat, Pakistan. *Environmental Science and Pollution Research*. 2018;25(15):14666-14673.

5. U.S. National Committee for Geochemistry. Trace-Element geochemistry of coal resource development related to environmental quality and health. Washington: National Academy Press; 1980. 158 p.

6. Zarubina N.V., Blokhin M.G., Ostapenko D.S., Chekryzhov I.Yu. et al. Analiticheskie podkhody k kolichestvennomu opredeleniyu sodержaniya khimicheskikh elementov v uglyakh i uglistykh porodakh s ispol'zovaniem metodov ISP-MS i INAA = [Analytical approaches to the quantitative determination of the chemical elements content in coals and coal rocks using ICP-MS and INAA methods]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2021;332(3):99-112. (In Russ.).

7. Petsonk E.L., Rose C., Cohen R. Coal mine dust lung disease. New lessons from old exposure. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. 2013;187(11):1178-1185.

8. Laney A.S., Weissman D.N. Respiratory diseases caused by coal mine dust. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*. 2014;56(10S):18-22.

9. Gilmundinov V.M., Kazantseva L.K., Tagayeva T.O., Kugayevskaya K.S. Vliyanie zagryazneniya okruzhayushchei sredy na zdorov'e naseleniya regionov Rossii = [Environmental pollution and population health in Russian regions]. *Region: Economics and Sociology*. 2013;(1):209-228. (In Russ.).

10. Kiku P.F., Bienova S.N., Geltser B.I. Sreda obitaniya i ekologozavisimye zabolovaniya cheloveka = [Habitat and ecologically dependent human diseases]. Vladivostok: Far Eastern Federal University; 2017. 390 s. (In Russ.).

11. Noncommunicable diseases and air pollution: WHO High Level European Conference on Noncommunicable Diseases: WHO European High Level Conference on Noncommunicable Diseases. Ashgabat, Turkmenistan, April 9-10, 2019. World Health Organization; 2019. 12 p. (In Russ.).

12. Prüss-Ustün A., van Deventer E., Mudu P. et al. Environmental risks and non-communicable diseases. *BMJ*. 2019;364:1265.

13. Chen J., Hoek G. Long-term exposure to PM and all-cause and cause-specific mortality: A systematic review and meta-analysis. *Environment International*. 2020;143:105974.

14. Mayorova L.P., Lukyanov A.I., Dakhova E.V. Modelirovanie rasprostraneniya vzvesi ugol'noi pyli pri khraneni i pogruzochno-razgruzochnykh rabotakh v portakh (na primere porta Vanino) = [Modeling the spread of coal dust suspension during storage and loading and unloading operations in ports (for example, the port of Vanino)]. *Innovation and Investment*. 2021;(7):89-94. (In Russ.).

15. Agoshkov A.I., Moskovaya I.V. Problemy okhrany truda i zashchity okruzhayushchei sredy na morskikh ugol'nykh terminalakh Dal'nevostochnogo regiona = [Problems of labor protection and environmental protection at sea coal terminals of the Far East region]. In: *Security as a factor in sustainable development of society: Collection of scientific papers*. Simferopol: Publishing House Typography "Arial"; 2019. S. 10-17. (In Russ.).

16. Zelensky I.R., Khromenok D.V., Derevtsova K.V. Sravnitel'nyi analiz promyshlennykh metodov bor'by s ugol'noi pyl'yu v morskikh portakh Dal'nego Vostoka = [Comparative analysis of industrial methods of combating coal dust in the seaports of the Far East]. *Science and business: ways of development*. 2020;(10):41-43. (In Russ.).
17. Zaostrovskikh E.A. Ugol'nye porty Vanino i Vostochnyi i ikh vliyanie na ekonomiku regiona = [Coal ports of Vanino and Vostochnyi and their impact on the regional economy]. *Problems of territory development*. 2020;(1):78-92. (In Russ.). DOI: 10.15838/ptd.2020.1.105.6.
18. Starostina I.S., Shevtsov M.N. Vaninskii morskoi torgovyi port i ego vliyanie na okruzhayushchuyu sredu = [Vanino commercial sea port and its impact on the environment]. In: *New ideas of the new century: materials of the international scientific conference FAD TOGU*. 2016;3:353-358. (In Russ.).
19. Kodintsev V.V., Drozd V.A., Seryodkin I.V. et al. Ultrasound flushes from the needles as a new method of investigation of air microdimensional pollution. *Bulletin Physiology and Pathology of Respiration*. 2017;(65):90-93. (In Russ.).
20. Freer-Smith P.H., Beckett K.P., Taylor G. Deposition velocities to *Sorbus aria*, *Acer campestre*, *Populus deltoides* X *trichocarpa* 'Beaupré', *Pinus nigra* and X *Cupressocyparis leylandii* for coarse, fine and ultra-fine particles in the urban environment. *Environmental Pollution*. 2005;133(1):157-167.
21. Zhang W., Wang B., Niu X. Relationship between leaf surface characteristics and particle capturing capacities of different tree species in Beijing. *Forests*. 2017;8(3):92.
22. Kholodov A.S., Tarasenko I.A., Zinkova E.A. et al. The study of airborne particulate matter in Dalnegorsk town. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021;18:9234.
23. Ault A.P., Axson J.L. Atmospheric aerosol chemistry: spectroscopic and microscopic advances. *Analytical Chemistry*. 2017;89:430-452.
24. Kholodov A.S., Golokhvast K.S. Complex research of the particles which cause air pollution by laser granulometry, Raman-spectrometry and IR-spectrometry. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*. 2016;10176:101760N.
25. Potgieter-Vermaak S.S., Potgieter J.H., Belleil M. et al. The application of Raman spectrometry to the investigation of cement. Pt. II: A micro-Raman study of OPC, slag and fly ash. *Cement and Concrete Research*. 2006;36:663-670.
26. Lin Y., Zou J., Yang W., Li C.-Q. A review of recent advances in research on PM<sub>2.5</sub> in China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2018;15(3):438.
27. Lukyanov A.L., Dakhova E.V., Mayorova L.P. Otsenka zagryazneniya snezhnogo pokrova tyazhelymi metallami kak odin iz metodov monitoringa atmosfernogo vozdukh na primere naseleennykh punktov Dal'nego Vostoka = [Assessment of snow cover pollution by heavy metals as one of the methods of atmospheric air monitoring on the example of settlements in the Far East]. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2022;30(3):407-416. (In Russ.). DOI: 10.22363/2313-2310-2022-30-3-407-416.

