

УДК 535.4

ГОДОВЫЕ КОЛЕБАНИЯ ЧАСТИЦ PM_{10} В ВОЗДУХЕ ВЛАДИВОСТОКА

© 2015 В.А. Дрозд¹, П.Ф. Кику¹, В.Ю. Ананьев², Д.С. Жигаев², И.Г. Лисицкая¹,
С.М. Олесик¹, А.С. Холодов¹, В.В. Иванов³, В.В. Чайка¹, К.С. Голохваст¹

¹ Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток

² Центр гигиены и эпидемиологии в Приморском крае, г. Владивосток

³ Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, г. Владивосток

Статья поступила в редакцию 23.11.2015

Представлены результаты годового эколого-гигиенического мониторинга содержания мелкодисперсной пыли PM_{10} на территории Владивостока. Установлено, что ситуация с загрязнением мелкодисперсной пылью во Владивостоке не стабильна и имеет свои особенности: наибольшие концентрации пыли наблюдаются в весенний период, особенно во время возникновения пыльных бурь на территории соседних государств, также имеет место влияние температурного градиента и повышение влажности воздушной среды. Выявлено наличие в пыли частиц как природного, так и антропогенного происхождения. При проведении дальнейших исследований следует уделять особое внимание содержанию и формам присутствия тяжелых металлов и оценке экологических, гигиенических и токсикологических эффектов.

Ключевые слова: *мелкодисперсная пыль, аэрозоль, атмосферный воздух, эколого-гигиенический мониторинг*

Загрязнение атмосферного воздуха является важной эколого-гигиенической проблемой для большинства городов. Показатели загрязнения воздушной среды определяются изменениями выбросов промышленных предприятий, транспортной инфраструктуры, а также индивидуальными метеорологическими условиями, уникальными для каждого города, которые также обладают значительной временной изменчивостью. Одним из значимых показателей качества атмосферного воздуха в городской среде является содержание в нем взвешенных веществ. Особое внимание необходимо уделять концентрации

мелкодисперсной пыли, с размерами частиц меньше 2,5 мкм ($PM_{2,5}$) и 10 мкм (PM_{10}). Согласно документам Всемирной организации здравоохранения, взвешенные вещества $PM_{2,5}$ и PM_{10} , содержащиеся в атмосферном воздухе, являются по степени своего вредного воздействия одним из наиболее значимых факторов влияния загрязнения воздуха на здоровье населения. В настоящее время контроль за содержанием мелкодисперсных частиц ведется как в Европе [1], так и некоторых городах России [2-5].

Цель работы: проведение гигиенического мониторинга мелкодисперсной пыли PM_{10} в центральной части г. Владивостока.

Методы. В работе ставилась цель организации гигиенического мониторинга мелкодисперсных частиц пыли в воздушной среде г. Владивостока. Стационарный наблюдательный пункт мониторинга мелкодисперсных частиц пыли (на базе Центра гигиены и эпидемиологии в Приморском крае) оборудован по адресу г. Владивосток, ул. Уткинская, д.36 (рис. 1). Точка отбора отвечает требованию репрезентативности по территории размещения: наблюдательный пункт оборудован в центральной части города, в стороне от промышленных предприятий; при этом пункт находится на возвышенности и некотором удалении от основных транспортных магистралей. Место отбора проб выбрано таким образом, чтобы определяемые концентрации характеризовали содержание мелкодисперсной пыли в городе, а не непосредственно примыкающие к пункту наблюдений источники выбросов.

В период с 21.10.14 по 30.10.15 отобрано 165 проб. Мониторинг проводится с помощью

Дрозд Владимир Александрович, научный сотрудник Международного центра обогащения минерального сырья и использования вторичных ресурсов. E-mail: v.drozd@mail.ru

Кику Павел Федорович, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой профилактической медицины и организации здравоохранения. E-mail: lme@list.ru
Ананьев Василий Юрьевич, кандидат медицинских наук, главный врач

Жигаев Дмитрий Сергеевич, заведующий отделом социально-гигиенического мониторинга

Лисицкая Ирина Георгиевна, доцент Межведомственного центра аналитического контроля управления развитием. E-mail: lisitskaya@mail.ru

Олесик Светлана Михайловна, техник-проектировщик
Холодов Алексей Сергеевич, соискатель

Иванов Владимир Викторович, кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией микро- и наноисследований

Чайка Владимир Викторович, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник. E-mail: vovka-rohtalion@mail.ru

Голохваст Кирилл Сергеевич, доктор биологических наук, профессор, заместитель директора по развитию. E-mail: droopy@mail.ru

пробоотборника LVS 3.1 (Ingeniero Nobert Derenda). Использовались фильтры 47 мм тип MG 160 без связующих, с диаметром рабочей поверхности 47 мм (MUNKTELL). Для оценки загрязнения атмосферного воздуха взвешенными веществами PM_{10} используются данные наблюдений, полученные эталонным гравиметрическим с 24-часовым отбором проб воздуха на фильтр или эквивалентным методом. Использовались аналитические весы VIBRA AF 225DRCE. Объем прокаченного воздуха в среднем составляет $55,3 \text{ м}^3$. Это соответствует документам Европейской организации по стандартизации EN 12341 [6] и EN 14907 [7], также устанавливающим гравиметрический метод наблюдений за содержанием в атмосферном воздухе мелких взвешенных частиц PM_{10} .

Массовую концентрацию (p , $\text{мг}/\text{м}^3$) взвешенных частиц в воздухе вычисляют по формуле:

$$p = \frac{m_2 - m_1}{V_0}$$

где m_1 - масса фильтра без пыли, мг; m_2 - масса фильтра с пылью, мг; V_0 - объем пропущенного через фильтр воздуха, приведенный к нормальным условиям, м^3 .

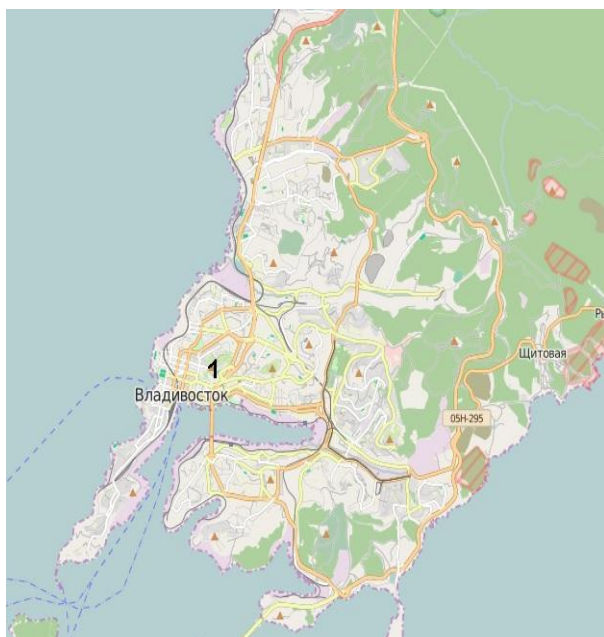


Рис. 1. Точка отбора (1) на карте Владивостока. Участники OpenStreetMap

Исследование элементного состава проводилось на оптическом эмиссионном многоэлементном ICP-спектрометре-полихроматоре ICPE-9000 (SHIMADZU, Япония). Для вещественной идентификации частиц пыли в волокнистой субстанции фильтров был задействован сканирующий электронный микроскоп (СЭМ) JSM-6490LV (Jeol, Япония) с системами локального энерго (EDS)- и волнодисперсионного (WDS) анализа Oxford INCA Energy и INCA Wave. Для этого части

фильтров с адсорбируемым материалом крепили на аналитические столики с помощью углеродного скотча. Для предотвращения накопления заряда образцы были напылены хромом. Микроанализ проводили в режиме отраженных электронов в точках при рабочем расстоянии 11 мм и ускоряющем напряжении 20 кВ. Результаты обработаны при использовании специальной программы – INCA Point & ID. Фотографии получены в режиме отраженных электронов при увеличении от 160 до 8000 крат.

Из отобранных проб 30 фильтров с накопленной на них взвесью PM_{10} были проанализированы по разработанной методике авторами определения массовой концентрации тяжелых металлов в мелкодисперсной пыли методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой; подготовка фильтров к анализу выполнена методом кислотной экстракции в ультразвуковой ванне с нагреванием. Гигиеническая оценка полученных результатов химического анализа осуществляется в соответствии с гигиеническими нормативами ГН 2.1.6.1338-03 и ГН 2.1.6.2604-10 «Дополнение N 8 к ГН 2.1.6.1338-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест» [8].

Результаты измерений. Гигиенические нормативы предельно допустимых концентраций взвешенных твердых частиц в атмосферном воздухе населенных мест для PM_{10} и $PM_{2,5}$, установленные ГН 2.1.6.2604-10 (дополнение № 8 к ГН 2.1.6.1338-03) [8], представлены в табл. 1. Результаты измерения концентрации пыли PM_{10} в центральной части г. Владивосток представлены на рис. 2.

Таблица 1. Предельно допустимые концентрации мелкодисперсных частиц в атмосферном воздухе

Наименование	Величина предельно допустимой концентрации (ПДК), $\text{мг}/\text{м}^3$		
	максимальная разовая	среднесуточная	среднегодовая
PM_{10}	0,3	0,06	0,04
$PM_{2,5}$	0,16	0,035	0,025

Абсолютный максимум зафиксирован 06.05.2015 г., концентрация PM_{10} достигла $0,4 \text{ мг}/\text{м}^3$, второе по величине значение $0,22 \text{ мг}/\text{м}^3$ приходится на 27.03.2015 г. По информации Росгидромета [9] именно в эти дни Приморский край достигли пылевые массы, зародившиеся как пыльные бури на территории Монголии и Китая. Неблагоприятное природное явление, не характерное для местного климата, достигло региона вследствие интенсивного движения воздушных масс: накануне дул сильный западный и юго-западный ветер, который и принес на Дальний Восток мельчайшие частички пыли.

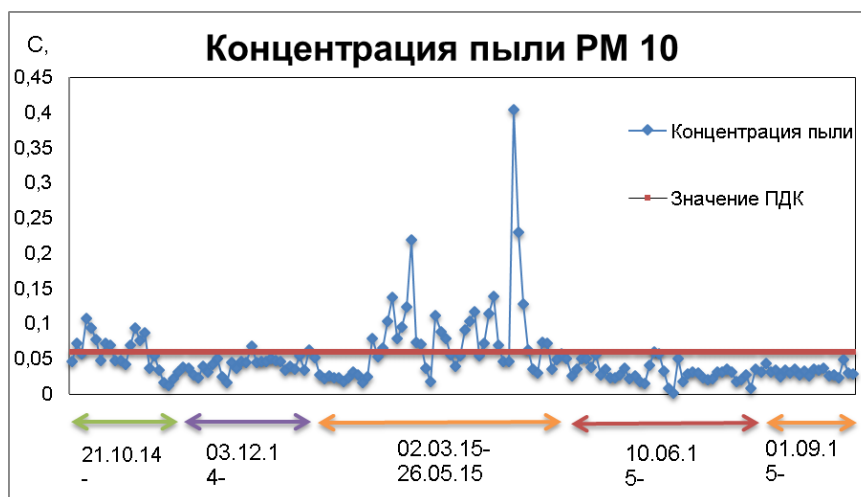


Рис. 2. Концентрация мелкодисперсной пыли PM_{10} в точке отбора по результатам отбора 21.10.2014-30.10.2015.

Полученные результаты выявили сезонную изменчивость воздушного загрязнения мелкодисперсной пылью: зимний период характеризуется стабильным уровнем содержания PM_{10} в воздухе; весной контролируемый показатель изменяется в широком диапазоне, отмечаются значительные превышения гигиенического норматива, когда вмешиваются колебания температурного фактора, увеличиваются показатели влажности воздушной среды. Анализ данных сети мониторинга Росгидромета показал, что на территорию юга дальневосточного региона, а также и бассейн Японского моря, выпадает терригенное вещество, приносимое воздушными потоками из аридных зон континента. Максимум потока выпадений достигает в весенний период, когда в азиатских пустынях особенно часты пыльные бури [10]. Пылевые облака, как правило, перемещаются южнее Приморья, достаточно редко

выходя на юг дальневосточного региона, но эпизодически, в весенний период года, на юге дальневосточного региона наблюдаются аномально высокие уровни выпадений взвешенного вещества, как это произошло и весной 2015 года.

Результаты мониторинга мелкодисперсных частиц подтверждают, что воздушный бассейн юга Владивостока испытывает антропогенные нагрузки не только от региональных источников, но и вследствие трансграничного переноса загрязнителей из Китая, КНДР и Японии. Обозначение на карте Восточной Азии окружности радиусом в полторы тысячи километров с центром во Владивостоке показывает то, что внутри ее окажется большая часть юга Дальнего Востока России, Япония, оба государства полуострова Кореи и почти весь Северо-Восточный Китай [11], как показано на рис. 3.

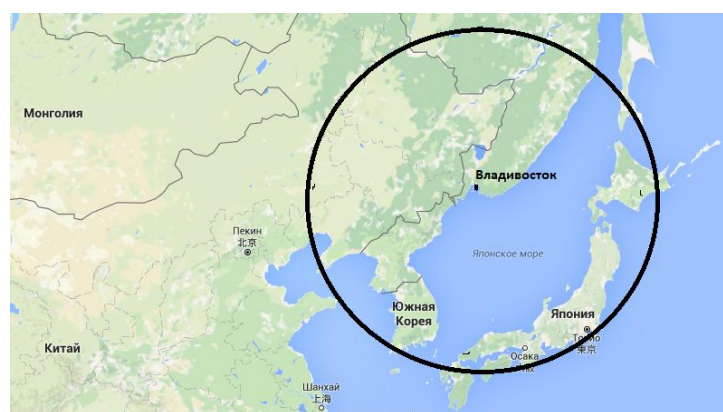


Рис. 3. Территории, расположенные в радиусе 1500 км от Владивостока

Природа и химический состав пылевых частиц и определяют степень опасности пылевого загрязнения воздуха для здоровья человека и окружающей среды. Выполненные электронно-микроскопическим методом исследования компонентного состава мелкодисперсной пыли в

воздухе г. Владивостока показали, что значительная часть твердых частиц аэрозоля имеет техногенное происхождение и содержит, в том числе, такие приоритетные с точки зрения экологического и санитарно-гигиенического, токсикологического контроля элементы, как тяжелые

металлы. Выполненные исследования [12] показали, что частицы с размером менее 10 мкм содержат основную долю тяжелых металлов, переносимых на дальние расстояния, поэтому

именно эта фракция отобрана для анализа на тяжелые металлы. Результаты элементного анализа мелкодисперсной пыли PM₁₀ представлены на рис. 4.

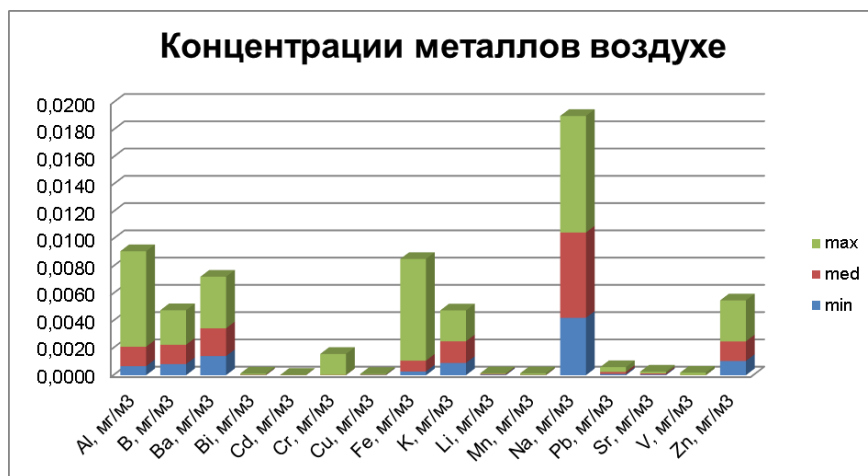


Рис. 4. Результаты элементного анализа мелкодисперсной пыли PM₁₀


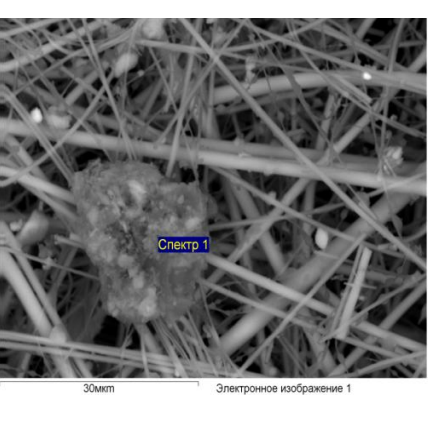

Анализ результатов показал, что элементный состав взвесей нестабилен, концентрации всех элементов изменяются в широком диапазоне, но в целом (значения медиан) его можно характеризовать как терригенную пыль: преобладают почвообразующие (алюминий, железо) элементы, щелочные металлы. На состав взвесей влияет антропогенный фактор (обращает на себя внимание высокое содержание в пыли свинца и цинка), загрязняющие вещества способны нару-

шить баланс потоков веществ в природных средах.

Исследования на аналитическом сканирующем электронном микроскопе позволили охарактеризовать твердофазный компонентный состав пыли. Были обнаружены частицы природного и антропогенного происхождения, в том числе алюмосиликаты, карбонаты, оксиды и другие минералы различных металлов, продукты сжигания углей и т.д. (табл. 2).

Таблица 2. Результаты рентгеноспектрального микроанализа частиц мелкодисперсной пыли

СЭМ-изображения частиц пыли в отраженных электронах	Минерал	Состав	
		элемент	% массы
	Кальцит	Ca	29.07
		C	15.40
		O	54.00
		Si	0.66
		Na	0.41
		Al	0.35
		S	0.12
Сумма	100.00		
	Оксид вольфрама	W	41.24
		O	46.60
		Cu	5.50
		Fe	2.85
		Co	2.07
		Ni	0.60
		Ti	1.13
Сумма	100.00		

	<p>Кварц в глинистой «рубашке»</p>	<table border="1"> <tbody> <tr><td>Si</td><td>30.86</td></tr> <tr><td>O</td><td>48.16</td></tr> <tr><td>Al</td><td>10.18</td></tr> <tr><td>Na</td><td>4.88</td></tr> <tr><td>K</td><td>0.64</td></tr> <tr><td>Ca</td><td>4.71</td></tr> <tr><td>Fe</td><td>0.35</td></tr> <tr><td>Mg</td><td>0.21</td></tr> <tr><td>Сумма</td><td>100.00</td></tr> </tbody> </table>	Si	30.86	O	48.16	Al	10.18	Na	4.88	K	0.64	Ca	4.71	Fe	0.35	Mg	0.21	Сумма	100.00												
Si	30.86																															
O	48.16																															
Al	10.18																															
Na	4.88																															
K	0.64																															
Ca	4.71																															
Fe	0.35																															
Mg	0.21																															
Сумма	100.00																															
	<p>Сажа</p>	<table border="1"> <tbody> <tr><td>C</td><td>20.40</td></tr> <tr><td>O</td><td>65.71</td></tr> <tr><td>Si</td><td>6.10</td></tr> <tr><td>Al</td><td>2.34</td></tr> <tr><td>Mg</td><td>0.67</td></tr> <tr><td>P</td><td>0.11</td></tr> <tr><td>S</td><td>0.32</td></tr> <tr><td>Na</td><td>1.30</td></tr> <tr><td>K</td><td>0.50</td></tr> <tr><td>Ca</td><td>0.85</td></tr> <tr><td>Fe</td><td>0.99</td></tr> <tr><td>Zn</td><td>0.19</td></tr> <tr><td>Ba</td><td>0.34</td></tr> <tr><td>Cl</td><td>0.18</td></tr> <tr><td>Сумма</td><td>100.00</td></tr> </tbody> </table>	C	20.40	O	65.71	Si	6.10	Al	2.34	Mg	0.67	P	0.11	S	0.32	Na	1.30	K	0.50	Ca	0.85	Fe	0.99	Zn	0.19	Ba	0.34	Cl	0.18	Сумма	100.00
C	20.40																															
O	65.71																															
Si	6.10																															
Al	2.34																															
Mg	0.67																															
P	0.11																															
S	0.32																															
Na	1.30																															
K	0.50																															
Ca	0.85																															
Fe	0.99																															
Zn	0.19																															
Ba	0.34																															
Cl	0.18																															
Сумма	100.00																															
	<p>Полевой шпат</p>	<table border="1"> <tbody> <tr><td>Ca</td><td>3.18</td></tr> <tr><td>K</td><td>1.55</td></tr> <tr><td>Ba</td><td>2.82</td></tr> <tr><td>Si</td><td>22.18</td></tr> <tr><td>Al</td><td>2.82</td></tr> <tr><td>O</td><td>36.23</td></tr> <tr><td>Zn</td><td>2.01</td></tr> <tr><td>S</td><td>0.44</td></tr> <tr><td>La</td><td>7.28</td></tr> <tr><td>Ce</td><td>2.07</td></tr> <tr><td>Nd</td><td>5.28</td></tr> <tr><td>Fe</td><td>0.50</td></tr> <tr><td>Сумма</td><td>100.00</td></tr> </tbody> </table>	Ca	3.18	K	1.55	Ba	2.82	Si	22.18	Al	2.82	O	36.23	Zn	2.01	S	0.44	La	7.28	Ce	2.07	Nd	5.28	Fe	0.50	Сумма	100.00				
Ca	3.18																															
K	1.55																															
Ba	2.82																															
Si	22.18																															
Al	2.82																															
O	36.23																															
Zn	2.01																															
S	0.44																															
La	7.28																															
Ce	2.07																															
Nd	5.28																															
Fe	0.50																															
Сумма	100.00																															

Выводы: результаты эколого-гигиенического мониторинга показали:

1. Ситуация с загрязнением мелкодисперсной пылью во Владивостоке не стабильна и имеет свои особенности.

2. Наибольшие концентрации пыли наблюдаются в весенний период, особенно во время возникновения пыльных бурь на территории соседних государств, а также здесь имеет место влияния температурного градиента и повышение влажности воздушной среды.

3. Проведенные исследования выявили наличие в пыли частиц как природного, так и антропогенного происхождения.

4. При проведении дальнейших исследований с применением современных инструментальных методов важно уделять особое внимание содержанию и форм нахождения тяжелых металлов и оценке экологических, гигиенических и токсикологических эффектов.

Работа выполнена при поддержке Научного Фонда ДВФУ (№13-06-0318-м_а) и Министерства образования и науки Российской Федерации (уникальный идентификатор работ RFMEFI59414X0006).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. ВОЗ-Европа «Рамочный план организации мониторинга взвешенных веществ в атмосфере в странах Восточной Европы, Кавказа и Центральной Азии» - Бонн: Европейский центр по окружающей среде и охране здоровья, 2006. 52 с.
2. Распоряжение от 23 декабря 2011 года № 177-Р «Об утверждении Методических рекомендаций по обеспечению качества измерений концентраций взвешенных частиц (PM₁₀ и PM_{2,5}) в атмосферном воздухе Санкт-Петербурга» // Право.ru - Режим доступа: <http://docs.pravo.ru/document/view/22025294/>
3. Боровлев, А.Э. Загрязнение атмосферного воздуха города Белгорода частицами пыли малых размеров / А.Э. Боровлев, С.А. Кунгурцев и др. // Ученые записки. Электронный научный журнал Курского государственного университета, 2013. № 1(25).
4. Аликина, Е.Н. Определение фракционного состава и количественного содержания мелкодисперсных частиц в выхлопах дизельных автомобилей / Е.Н. Аликина, Н.В. Теплоухова, А.В. Уланов // Фундаментальные и прикладные аспекты анализа риска здоровью населения: мат-лы Всеросс. научно-практ. конф. молодых ученых и специалистов

- Роспотребнадзора: в 2 т. / под общ. ред. акад. РАМН Г.Г. Онищенко, акад. РАМН Н.В. Зайцевой. – Пермь: Книжный формат, 2012. Т. 1. 405 с.
5. Вепринцев, В.В. Опыт оценки уровней загрязнения атмосферного воздуха мелкодисперсными фракциями пыли рм_{2,5} и рм₁₀ при обосновании размера санитарно-защитной зоны предприятия черной металлургии / В.В. Вепринцев, С.В. Ярушин // *Фундаментальные и прикладные аспекты анализа риска здоровью населения: мат-лы Всеросс. научно-практ. конф. молодых ученых и специалистов Роспотребнадзора: в 2 т. / под общ. ред. акад. РАМН Г.Г. Онищенко, акад. РАМН Н.В. Зайцевой.* – Пермь: Книжный формат, 2012. Т. 1. 405 с.
 6. Ambient air. Standard gravimetric measurement method for the determination of the PM₁₀ or PM_{2,5} mass concentration of suspended particulate matter // BS EN 12341:2014 - 30 June 2014.
 7. Ambient air quality. Standard gravimetric measurement method for the determination of the PM_{2,5} mass fraction of suspended particulate matter // EN 14907:2005 - 11 November 2005.
 8. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест: гигиенический норматив. № 2.1.6.2604-10 – М.: Стандарт, 2010. 36 с.
 9. Примпогода [Электронный ресурс]: Официальный сайт - Режим доступа: <http://www.primpogoda.ru/articles/ecology/>
 10. Кондратьев, И.И. Атмосферный трансграничный перенос цезия-137 с терригенной пылью азиатских пустынь на юг Дальнего Востока / И.И. Кондратьев, О.Р. Скалыга // *География и природные ресурсы.* 2011. № 2. С. 32-38.
 11. Кондратьев, И.И. Атмосферный трансграничный перенос загрязняющих веществ из центров эмиссии Восточной Азии // *Вестник ДВО РАН.* 2008. № 1. С. 107-112.
 12. Методика измерений массовых концентраций загрязняющих компонентов (металлов) в воздухе рабочей зоны, атмосферном воздухе, промышленных выбросах в атмосферу методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой: ПНД Ф 13.1:2:3.71-11 (Э-232-2010). ОАО «Красцветмет», ЦЛТИ по Красноярскому краю.
 13. Куку, П.Ф. Влияние атмосферного воздуха на здоровье населения Владивостока / П.Ф. Куку, В.Ю. Ананьев, Д.С. Жигаев и др. // *Заметки ученого.* 2015. №5. С. 157-160.

ANNUAL FLUCTUATIONS OF PM₁₀ PARTICLES IN AIR OF VLADIVOSTOK CITY

© 2015 VA. Drozd¹, P.F. Kiku¹, V. Yu. Ananyev², D.S. Zhigayev², I.G. Lisitskaya¹, S.M. Olesik¹, A.S. Holodov¹, V.V. Ivanov³, V.V. Chayka¹, K.S. Golokhvast¹

¹ Far Eastern Federal University, Vladivostok

² Center of Hygiene and Epidemiology in Primorskiy Krai, Vladivostok

³ Far East Geological Institute FEB RAS, Vladivostok

Results of annual ecological and hygienic monitoring of the content of fine PM₁₀ dust in the territory of Vladivostok are presented. It is established that the situation with pollution by fine dust in Vladivostok isn't stable and has the features: the greatest concentration of dust are observed during the spring period, especially during emergence of dust storms in the territory of neighboring states, influence of a temperature gradient and increase of humidity of the air environment also takes place. Existence in dust of particles of both natural and anthropogenous origin is revealed. When carrying out further researches it is necessary to pay special attention to the contents and forms of heavy metals presence and assessment of ecological, hygienic and toxicological effects.

Key words: *fine dust, aerosol, atmospheric air, ecological and hygienic monitoring*

Vladimir Drozd, Research Fellow at the International Center for Enrichment the Mineral Raw Materials and Using the Secondary Resources. E-mail: v_drozd@mail.ru; Pavel Kiku, Doctor of Medicine, Professor, Head of the Department of the Preventive Medicine and Health Care Organization. E-mail: lme@list.ru; Vasily Ananyev, Candidate of Medicine, Chief Physician DMitriy Zhigayev, Head of the Social and Hygienic Monitoring Department; Irina Lisitskaya, Associate Professor of the Interdepartmental Center of Analytical Control of Development Management. E-mail: lisitskaya@mail.ru; Svetlana Olesik, Technician-designer; Aleksey Holodov, Competitor; Vladimir Ivanov, Candidate of geology and Mineralogy, Chief of the Micro- and Nanoresearches Laboratory; Vladimir Chayka, Candidate of Biology, Senior Research Fellow. E-mail: vovka-pohtalion@mail.ru; Kirill Golokhvast, Doctor of Biology, Professor, Deputy Director on Development E-mail: droopy@mail.ru