

УДК 614.715/-73:(-032.24)(571.66)

АТМОСФЕРНЫЕ ВЗВЕСИ ПЕТРОПАВЛОВСКА-КАМЧАТСКОГО ПО ДАННЫМ ЗАГРЯЗНЕНИЯ СНЕЖНОГО ПОКРОВА: ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

К.С.Голохваст¹, В.В.Жаков², П.А.Никифоров¹, В.В.Чайка¹, Т.Ю.Романова³, А.А.Карабцов³¹Дальневосточный федеральный университет Минобрнауки РФ, 690950, г. Владивосток, ул. Суханова, 8²Камчатский филиал Тихоокеанского института географии Дальневосточного отделения РАН, 683000, г. Петропавловск-Камчатский, улица Партизанская, 6³Дальневосточный геологический институт Дальневосточного отделения РАН, 690022, г. Владивосток, просп. 100 лет Владивостоку, 159

РЕЗЮМЕ

Статья посвящена исследованию атмосферных взвесей Петропавловска-Камчатского с помощью методов лазерной гранулометрии, масс-спектрометрии высокого разрешения (HR-ICP-MS) и сканирующей электронной микроскопии. Показано, что наиболее выраженное влияние на состав взвесей оказывает море – во всех пробах в значительных количествах присутствуют галит и сильвинит. В районе крупной автаразвязки выявлено содержание наночастиц (40-120 нм), которые по составу являются частицами сажи и металлов (Fe, W, Ti, Co, Ba). Парковые зоны характеризуются крупными частицами (более 100 мкм), которые по составу являются минералами, органическим детритом и соединениями металлов (Fe, Ti, Ba, W, Co и др.). В районе теплоэнергоцентралей (ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2) в пробах обнаружены угольные, сажевые и металло-содержащие (Fe, Ba, W, Ti, Co, V) частицы размером 10-50 мкм. Таким образом, уровень загрязнения воздушной среды Петропавловска-Камчатского невысокий, в воздухе города больше природных компонентов, чем техногенных. Вместе с тем, наибольшую тревогу вызывает обнаружение высокой доли металлических и сажевых наночастиц в пробах, отобранных в районе автаразвязки. Очевидно, что в связи с нарастанием количества автомобилей будет нарастать и опасность негативного воздействия этих частиц на здоровье человека.

Ключевые слова: атмосферные взвеси, микрочастицы, Петропавловск-Камчатский.

SUMMARY

ATMOSPHERIC SUSPENSIONS OF PETROPAVLOVSK-KAMCHATSKY CITY ACCORDING TO SNOW POLLUTION: ECOLOGICAL ANALYSIS

K.S.Golokhvast¹, V.V.Zhakov², P.A.Nikiforov¹, V.V.Chaika¹, T.Yu.Romanova³, A.A.Karabtsov³¹Far Eastern Federal University, 8 Sukhanova Str., Vladivostok, 690950, Russian Federation²Kamchatsky Branch of the Pacific Institute of Geography of Far Eastern Branch RAS, 6 Partizanskaya Str., Petropavlovsk-Kamchatsky, 683000, Russian Federation³Far Eastern Geological Institute of Far Eastern Branch RAS, 159 100-letiya Vladivostoka Ave., Vladivostok, 690022, Russian Federation

The article is devoted to the research of atmospheric suspensions of Petropavlovsk-Kamchatsky by methods of laser granulometry, high resolution mass spectrometry (HR-ICP-MS) and scanning electronic microscopy. It is shown that the sea has the most important impact on the structure of suspensions - in all samples there are salt rock and sylvinit in significant amounts. Near a large rotary, nanoparticles (40-120 nanometers) which are the particles of soot and metals (Fe, W, Ti, Co, Ba) were found. Park zones are characterized by large particles (more than 100 microns) which in their composition are minerals, organic detritus and compounds of metals (Fe, Ti, Ba, W, Co, etc.). Around combined heat and power plants (CHHP-1 and CHHP-2), coal, black and metallic (Fe, Ba, W, Ti, Co, V) particles of 10-50 microns in size were found in samples. Thus, the level of air pollution in Petropavlovsk-Kamchatsky is not high; there are more natural components rather than technology-related ones in the air of the city. At the same time findings of a high proportion of metallic and soot nanoparticles in the samples taken from the rotary is of great concern. It is obvious that the more cars there are, more negatively they will influence the health of a person.

Key words: atmospheric suspensions, microparticles, Petropavlovsk-Kamchatsky.

Петропавловск-Камчатский является одним из красивейших городов мира и относится к числу наиболее интересных с точки зрения экологии атмосферы городов России. Прежде всего, этот интерес обусловлен тем, что в городе, с позиции загрязнения атмосферы, крайне мало источников пыления, кроме, пожалуй, двух ТЭЦ и автомобилей, которых в последнее время становится всё больше. Один из главных загрязнителей в городе – отходы рыбной промышленности. Также Петропавловск-Камчатский интересен уникальным географическим расположением, отдаленностью от других крупных населенных пунктов и мощными сезонными переносами воздушных масс в системе «океан-материк».

Данная работа посвящена атмосферным взвесям города Петропавловска-Камчатского, которые исследовались с помощью комплексного анализа атмосферных осадков (снега).

Материалы и методы исследования

Петропавловск-Камчатский – город с населением более 180 тыс. человек (2013 г.). Расположен на берегу Авачинской бухты Тихого океана. На сегодняшний мо-

мент крупных источников пыления, кроме двух ТЭЦ, не имеется. Климат города умеренный, одновременно имеет черты морского и муссонного.

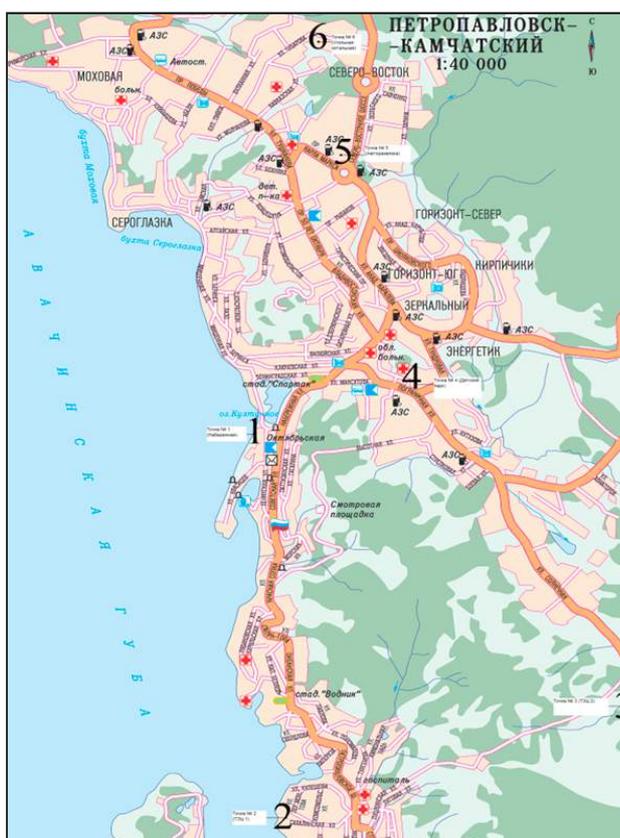


Рис. 1. Карта-схема мест отбора проб снега на территории г. Петропавловска-Камчатского:

- станция 1 – набережная в центре города;
- станция 2 – ТЭЦ 1 на ул. Сахалинская;
- станция 3 – ТЭЦ 2 на ул. Степная;
- станция 4 – Детский парк на ул. Пограничная;
- станция 5 – авторазвязка кольцо Нового рынка на Северо-восточное шоссе;
- станция 6 – угольная котельная на ул. Чубарова.

Атмосферные взвеси изучались в выпавшем снеге, который собирался в разных городах в момент снегопадов в 2012-2013 гг. Чтобы исключить вторичное загрязнение антропогенными аэрозолями, был собран верхний слой (5-10 см) только что выпавшего снега. Его помещали в стерильные контейнеры объемом 1 л. Через пару часов, когда снег в контейнерах растаивал, жидкость взбалтывали и из каждого образца набирали 60 мл жидкости и изучали на лазерном анализаторе частиц Fritsch Analysette 22 NanoTech (Германия). Анализ высохших образцов проводили на сканирующем микроскопе Hitachi S-3400N (Япония). Образцы напыляли платиной. Из каждого образца также набирали 10 мл жидкости и анализировали на масс-спектрометре высокого разрешения с индуктивно-связанной плазмой Element XR (Thermo Scientific). Измерения проводились с использованием методики ЦВ 3.18.05-2005.

Результаты исследования

Анализируя ранее полученные результаты [1, 2], можно разделить аэрозольные частицы по размерам на

семь классов: 1) от 0,1 до 1 мкм (соответствует PM1); 2) от 1 до 10 (соответствует PM10); 3) от 10 до 50 мкм; 4) от 50 до 100 мкм; 5) от 100 до 400 мкм; 6) от 400 до 700 мкм; 7) более 700 мкм. Размеры частиц и процентное соотношение фракций в пробах взвеси во всех населенных пунктах приведены в табл. 1.

Более детальные морфометрические характеристики частиц взвеси, обнаруженных в снеге, приведены ниже (табл. 2).

Если сравнивать гранулометрические характеристики взвесей в исследованных районах, то можно сделать несколько заключений.

Как мы видим из таблиц 1 и 2, в районе станции 5 (авторазвязка) зафиксирована преобладающая доля (70%) наночастиц (40-120 нм).

С помощью электронной микроскопии в пробах, отобранных в районе авторазвязки (станция 5) обнаружены сажевые частицы, металлосодержащие (Fe, W, Ti, Co, Ba) и минеральные (алюмосиликаты).

Наноразмерными из них являются металлосодержащие и мелкодисперсная сажа, источником которых, по всей видимости, является автотранспорт. Эти металлические частицы, как видно на рисунке 2, за счет огромной удельной поверхности и поверхностного заряда, образуют с сажей агрегаты и являются одними из самых опасных для здоровья человека типов частиц городских атмосферных взвесей.

Наиболее крупные частицы, а значит наименее опасные для здоровья человека, были обнаружены в зонах, близких к паркам и берегу: №1, 4 и 6. Так, в районе станции 1 (набережная) были обнаружены в большом количестве частицы органического детрита, спеки, минералы (преимущественно, галит) и металлосодержащие (Fe, Ti, Ba, W, Co) частицы (рис. 3).

Очевидно, что на качественный состав частиц в этом районе города самое выраженное влияние имеет Авачинская губа – в пробах по составу минералов содержится 90-95% галита.

В зоне парка (станция 4) преобладают частицы органического детрита и галита (рис. 4). Хотя встречаются и другие минералы (алюмосиликаты) и металлы (преимущественно, W, Ti и Ba).

В районе котельной (станция 6), работающей на угле, было обнаружено большое количество галита, сильвинита, угольных и металлосодержащих (Fe, Ti, W, V) частиц (рис. 5). На качественный состав частиц на станции 2 (ТЭЦ 1) также сильно влияет морское побережье (много галита), угольных, сажевых и металлосодержащих (Fe, Ba, W, Ti, Co, V) частиц (рис. 6).

На станции 3 (ТЭЦ 2) в образцах снега обнаружены угольные, сажевые и металлосодержащие (Fe, Ti, W, Ba, Cr) частицы (рис. 7). ТЭЦ 2 находится дальше от побережья, в отличие от ТЭЦ 1, и в пробах преобладают угольные и минеральные частицы. Причем алюмосиликатов в процентном отношении больше (до 60%), чем галита и сильвинита (суммарно около 30%). Стоит также отметить различие между двумя ТЭЦ в Петропавловске – ТЭЦ-2 частично работает на природном газе. Но как мы можем видеть, влияние океана на состав воздуха в этих районах более выражено, и, в

итоге, разница между ТЭЦ, работающей полностью на угле, и ТЭЦ, частично использующей газ, незначительна.

снеговых пробах, было проведено масс-спектрометрическое исследование снеговой воды, и его результаты приводятся в таблице 3.

Чтобы оценить водорастворимые компоненты в

Таблица 1

Распределение частиц в снеге по фракциям в разных районах г. Петропавловска-Камчатского

Классы фракций	Станции отбора проб снега					
	1	2	3	4	5	6
1 (>1 мкм)	-	-	-	-	0,04-0,12 мкм (70%)	-
2 (1-10 мкм)	-	-	-	-	-	-
3 (10-50 мкм)	-	15-20 мкм (8%)	12-22 мкм (100%)	10-15 мкм (2%)	20-30 мкм (9%)	-
	-	30-60 мкм (58%)		30-50 мкм (8%)	32-40 мкм (6%)	-
	-				40-60 мкм (15%)	-
4 (50-100 мкм)	-	-	-	-	-	-
5 (100-400 мкм)	150-250 мкм (100%)	120-180 мкм (36%)	-	-	-	-
6 (400-700 мкм)	-	-	-	400-500 мкм (7%)	-	-
7 (>700 мкм)	-	-	-	800-1000 мкм (83%)	-	800-1000 мкм (100%)

Таблица 2

Морфометрические параметры частиц взвеси, содержащихся в снеге разных районов г. Петропавловска-Камчатского

Параметры	Станции отбора проб снега					
	1	2	3	4	5	6
Средний арифметический диаметр, мкм	193,3	72,78	16,74	840,1	11,79	952,69
Мода, мкм	195,93	39,7	16,91	1003,38	0,07	1003,38
Медиана, мкм	192,27	41,56	16,63	957,53	0,08	971,72
Отклонение, мкм ²	446,47	2546,02	5,23	84985,71	367,32	13250,04
Среднеквадратичное отклонение, мкм	21,13	50,46	2,28	291,52	19,16	115,11
Коэффициент отклонения, %	10,93	69,33	13,66	34,7	162,57	12,08
Удельная поверхность, см ² /см ³	314,08	1310,97	3650,13	264,13	619045,2	124,7

Таблица 3

Средние концентрации (мкг/л) токсичных металлов в снеговых пробах на станциях отбора проб г. Петропавловска-Камчатского*

Станции отбора	Cd ¹¹¹	Pb ²⁰⁷	Al ²⁷	Cr ⁵²	Fe ⁵⁶	Ni ⁵⁹	Cu ⁶³	Zn ⁶⁶
1	0,004±0,001	0,03±0,01	0,3±0,05	0,04±0,01	0,40±0,12	0,15±0,03	0,02±0,01	0,30±0,1
2	0,032±0,02	0,03±0,01	0,07±0,02	0,05±0,02	0,39±0,12	0,07±0,01	0,01±0,005	14,52±2,90
3	0,004±0,002	0,03±0,01	0,03±0,01	0,05±0,02	0,19±0,06	0,20±0,04	0,02±0,01	2,47±0,49
4	0,036±0,02	0,56±0,11	0,05±0,02	0,08±0,02	0,35±0,11	0,17±0,03	0,01±0,005	17,59±3,50
5	0,01±0,003	0,17±0,03	0,13±0,03	0,04±0,01	1,09±0,16	2,87±0,43	0,02±0,01	8,18±1,6
6	0,01±0,003	0,46±0,09	0,3±0,05	0,03±0,01	0,46±0,12	0,06±0,01	0,01±0,005	16,35±3,27

Примечание: * – погрешность выполненных анализов оценена по величине среднеквадратичного отклонения, значение которого при определении приведенных в таблице элементов не превышает 1-5%.

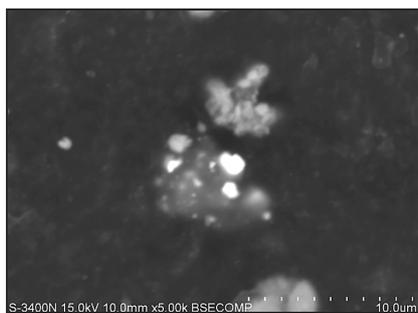


Рис. 2. Частицы Fe и сажи из образца снега, собранного в районе №5 (авторазвязка). Сканирующая электронная микроскопия во вторичных электронах. Масштабный отрезок – 10 мкм. Увеличение: 5000.

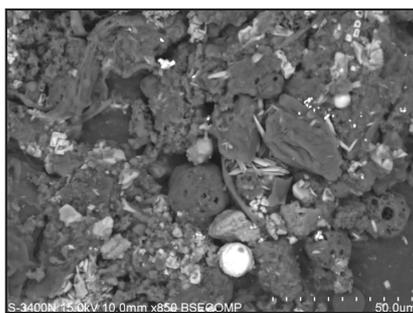


Рис. 3. Типичные частицы взвеси, отобранной в районе №1 (набережная). Посередине, чуть ниже центра (белая) – частица Fe. Сканирующая электронная микроскопия во вторичных электронах. Масштабный отрезок – 50 мкм. Увеличение: 850.

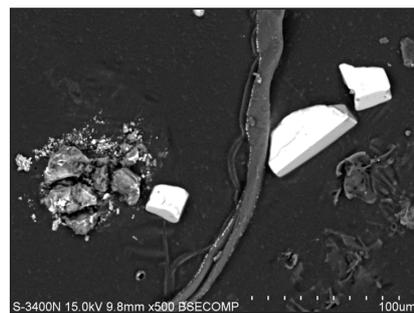


Рис. 4. Частицы галита (белые) и органического детрита из образца снега, собранного в районе №4 (детский парк). Сканирующая электронная микроскопия во вторичных электронах. Масштабный отрезок – 100 мкм. Увеличение: 500.

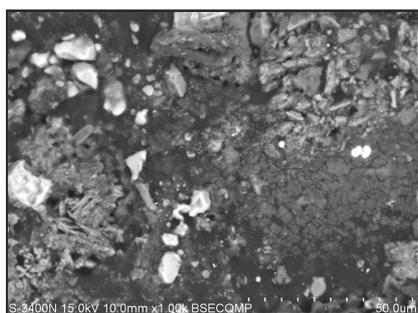


Рис. 5. Частицы Fe и сажи из образца снега, собранного в районе №6 (котельная). Сканирующая электронная микроскопия во вторичных электронах. Масштабный отрезок – 50 мкм. Увеличение: 1000.

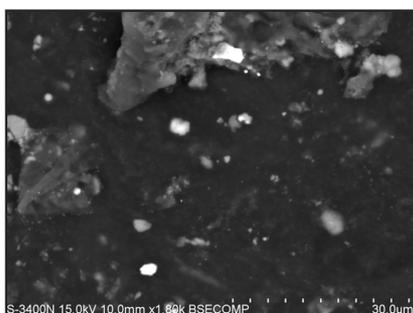


Рис. 6. Частицы минералов из образца снега, собранного в районе №2 (ТЭЦ 1). Сканирующая электронная микроскопия во вторичных электронах. Масштабный отрезок – 30 мкм. Увеличение: 1800.

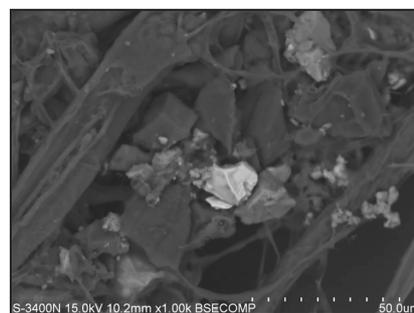


Рис. 7. Частицы алюмосиликатов (светло-серые) и угля (темно-серые) из образца снега, собранного в районе №3 (ТЭЦ 2). Сканирующая электронная микроскопия во вторичных электронах. Масштабный отрезок – 50 мкм. Увеличение: 1000.

Из табл. 3 видно, что в районах №2 (ТЭЦ-1), №4 (детский парк) и №6 (котельная) повышено содержание Zn, а в районе №5 (авторазвязка) – Fe и Ni, что также отмечалось при электронной микроскопии и подтверждает их автомобильное происхождение.

Обсуждение результатов исследования

В целом, стоит отметить, что на качественный состав атмосферных взвесей Петропавловска огромное влияние оказывает море. Самые распространенные минералы и горные породы по убыванию: галит, сильвинит, уголь, алюмосиликаты, кварц. Также часто встречаются бариты.

Достаточно много встречается металлосодержащих частиц, причем самыми распространенными среди них являются Fe, Ti, и W. Доля этих трех металлов составляет примерно 80-85% от общего количества металлов, обнаруженных в пробах снега Петропавловска.

Водорастворимые элементы, исследованные методом масс-спектрометрии, по разным районам находятся примерно в одинаковых концентрациях. Только в районе автомобильного кольца обнаруживается повышенное содержание Fe и Ni.

Неблагоприятным прогностическим аспектом яв-

ляется многочисленное обнаружение в воздухе Петропавловска частиц сажи и металлов. Ведь как известно, на здоровье человека наиболее вредным действием обладают именно такие компоненты выхлопных газов, как твердые нано- и микрочастицы сажи, металлы, и, как недавно было показано, углеродные наноматериалы [12, 14, 16]. Способность твердых частиц проникать глубоко в легкие может вызывать осложнения респираторных и сердечно-сосудистых заболеваний и служить причиной преждевременной смерти [3, 7, 9, 13, 15]. Особого внимания заслуживают твердые частицы, выделяющиеся в окружающую среду с выхлопными газами дизельных автомобилей, поскольку они обладают способностью повышать риск заболеть раком [5, 11]. Есть новейшие данные о том, что выхлопные газы автомобилей непосредственно задействованы в патогенезе аллергических заболеваний [8, 10], бронхиальной астмы [4] и болезни нервной системы человека [6].

Также стоит отметить, что в пробах половины районов Петропавловска отмечено повышенное содержание цинка. Источник данного загрязнения обнаружить пока не удалось, но мы склоняемся к мнению, что им также может являться автотранспортное загрязнение.

Заключение

Таким образом, комплексный анализ частиц атмосферных взвесей Петропавловска позволяет сделать вывод о невысоком уровне загрязнения воздушной среды. Преобладание по массе в пробах морских солей (галит и сильвинит), алюмосиликатов и органического детрита демонстрирует, что в настоящее время в воздухе города больше природных компонентов, чем техногенных.

Наибольшую тревогу, конечно, вызывает обнаружение высокой доли металлических и сажевых наночастиц в пробах, отобранных в районе авторазвязки. Очевидно, что в связи с возрастанием количества автомобилей будет нарастать и опасность негативного воздействия этих частиц на здоровье человека.

Работа выполнена при поддержке Научного Фонда ДВФУ, Гранта Президента для молодых ученых МК-1547.2013.5, Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках проекта «Реализация комплекса мер по поддержке и развитию ЦКП "Межведомственный центр аналитического контроля состояния окружающей среды" ДВФУ» (№14.594.21.0006).

ЛИТЕРАТУРА

1. Гранулометрический и минералогический анализ взвешенных в атмосферном воздухе частиц / К.С.Голохваст [и др.] // Бюл. физиол. и патол. дыхания. 2011. Вып.40. С.94–100.
2. Голохваст К.С. Атмосферные взвеси городов Дальнего Востока. Владивосток: ДВФУ, 2013. 178 с.
3. Заболевания органов дыхания на Дальнем Востоке России: эпидемиологические и социально-гигиенические аспекты / В.П.Колосов [и др.]. Владивосток: Дальнаука, 2013. 220 с.
4. Polycyclic aromatic hydrocarbon distribution in serum of Saudi children using HPLC-FLD: marker elevations in children with asthma / N.M.Al-Daghri [et al.] // Environ. Sci. Pollut. Res. Int. 2014. Jun 14.
5. Cooney D.J., Hickey A.J. Cellular response to the deposition of diesel exhaust particle aerosols onto human lung cells grown at the air-liquid interface by inertial impaction // Toxicol. In Vitro. 2011. Vol.25, №8. P.1953–1965.
6. Electrophilic components of diesel exhaust particles (DEP) activate transient receptor potential ankyrin-1 (TRPA1): a probable mechanism of acute pulmonary toxicity for DEP / C.E.Deering-Rice [et al.] // Chem. Res. Toxicol. 2011. Vol.24, №6. P.950–959.
7. Controlled human exposures to diesel exhaust / A.J.Ghio [et al.] // Swiss Med. Wkly. 2012. Vol.142. w13597.
8. Environmental factors and allergic diseases / D.Jen-erowicz [et al.] // Ann. Agric. Environ. Med. 2012. Vol.19, №3. P.475–481.
9. Effects of prenatal exposure to diesel exhaust particles on postnatal development, behavior, genotoxicity and inflammation in mice / K.S.Hougaard [et al.] // Part. Fibre Toxicol. 2008. №5. P.3.

10. Route of exposure alters inflammation and lung function responses to diesel exhaust / A.N.Larcombe [et al.] // Inhal. Toxicol. 2014. Vol.26, №7. P.409–418.

11. Risk factors for lung cancer in the Pakistani population / M.Luqman [et al.] // Asian Pac. J. Cancer Prev. 2014. Vol.15. №7. P.3035–3039.

12. A multidisciplinary approach to characterise exposure risk and toxicological effects of PM10 and PM2.5 samples in urban environments / C.Reche [et al.] // Ecotoxicol. Environ. Saf. 2012. Vol.78. P.327–335.

13. Particle-Induced Pulmonary Acute Phase Response Correlates with Neutrophil Influx Linking Inhaled Particles and Cardiovascular Risk / A.T.Saber [et al.] // PLoS ONE. 2013. Vol.8, №7. e69020.

14. Spada N., Bozlaker A., Chellam S. Multi-elemental characterization of tunnel and road dusts in Houston, Texas using dynamic reaction cell-quadrupole-inductively coupled plasma-mass spectrometry: Evidence for the release of platinum group and anthropogenic metals from motor vehicles // Anal. Chim. Acta. 2012. Vol.735. P.1–8.

15. Totlandsdal A.I., Øvrevik J., Cochran R.E., Herseth J.I., Bølling A.K., Låg M., Schwarze P., Lilleaas E., Holme J.A., Kubátová A. The occurrence of polycyclic aromatic hydrocarbons and their derivatives and the proinflammatory potential of fractionated extracts of diesel exhaust and wood smoke particles // J. Environ. Sci. Health. A. Tox. Hazard. Subst. Environ. Eng. 2014. Vol.49, №4. P.383–396.

16. Wang J., Pui D.Y.H. Dispersion and filtration of carbon nanotubes (CNTs) and measurement of nanoparticle agglomerates in diesel exhaust // Chem. Eng. Sci. 2013. Vol.85. P.69–76.

REFERENCES

1. Golokhvast K.S., Khristoforova N.K., Kiku P.F., Gulkov A.N. *Bulleten' fiziologii i patologii dyhaniya* 2011; 40:94–100.
2. Golokhvast K.S. *Atmosfernye vzvesi gorodov Dal'nego Vostoka* [Atmospheric suspensions of Far Eastern cities]. Vladivostok: Far Eastern Federal University; 2013.
3. Kolosov V.P., Manakov L.G., Kiku P.F., Polyanskaya E.V. *Zabolevaniya organov dykhaniya na Dal'nem Vostoke Rossii: epidemiologicheskie i sotsial'no-gigienicheskie aspekty* [Respiratory diseases in the Far East of Russia: epidemiologic and social-hygienic aspects]. Vladivostok: Dal'nauka; 2013.
4. Al-Daghri N.M., Alokail M.S., Abd-Alrahman S.H., Draz H.M. Polycyclic aromatic hydrocarbon distribution in serum of Saudi children using HPLC-FLD: marker elevations in children with asthma. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 2014; Jun 14.
5. Cooney D.J., Hickey A.J. Cellular response to the deposition of diesel exhaust particle aerosols onto human lung cells grown at the air-liquid interface by inertial impaction. *Toxicol. In Vitro* 2011; 25(8):1953–1965.
6. Deering-Rice C.E., Romero E.G., Shapiro D., Hughen R.W., Light A.R., Yost G.S., Veranth J.M., Reilly C.A. Electrophilic components of diesel exhaust particles (DEP) activate transient receptor potential ankyrin-1

(TRPA1): a probable mechanism of acute pulmonary toxicity for DEP. *Chem. Res. Toxicol.* 2011; 24(6):950–959.

7. Ghio A.J., Sobus J.R., Pleil J.D., Madden M.C. Controlled human exposures to diesel exhaust. *Swiss Med. Wkly* 2012; 142:13597.

8. Jenerowicz D., Silny W., Dańczak-Pazdrowska A., Polańska A., Osmola-Mańkowska A., Olek-Hrab K. Environmental factors and allergic diseases. *Ann. Agric. Environ. Med.* 2012; 19(3):475–481.

9. Hougaard K.S., Jensen K.A., Nordly P., Taxvig C., Vogel U., Saber A.T., Wallin H. Effects of prenatal exposure to diesel exhaust particles on postnatal development, behavior, genotoxicity and inflammation in mice. *Part. Fibre Toxicol.* 2008; 5:3.

10. Larcombe A.N., Phan J.A., Kicic A., Perks K.L., Mead-Hunter R., Mullins B.J. Route of exposure alters inflammation and lung function responses to diesel exhaust. *Inhal. Toxicol.* 2014; 26(7):409–418.

11. Luqman M., Javed M.M., Daud S., Raheem N., Ahmad J., Khan A.U. Risk factors for lung cancer in the Pakistani population. *Asian Pac. J. Cancer Prev.* 2014; 15(7):3035–3039.

12. Reche C., Moreno T., Amato F., Viana M., van Drooge B., Chuang H., Berube K., Jones T., Alastuey A., Querol X. A multidisciplinary approach to characterise exposure risk and toxicological effects of PM10 and PM2.5

samples in urban environments. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2012; 78:327–335.

13. Saber A.T., Lamson J.S., Jacobsen N.R., Ravn-Haren G., Hougaard K.S., Nyendi A.N., Wahlberg P., Madsen A.M., Jackson P., Wallin H., Vogel U., Morty R.E. Particle-Induced Pulmonary Acute Phase Response Correlates with Neutrophil Influx Linking Inhaled Particles and Cardiovascular Risk. *PLoS ONE* 2013; 8(7):e69020.

14. Spada N., Bozlaker A., Chellam S. Multi-elemental characterization of tunnel and road dusts in Houston, Texas using dynamic reaction cell-quadrupole-inductively coupled plasma-mass spectrometry: Evidence for the release of platinum group and anthropogenic metals from motor vehicles. *Anal. Chim. Acta* 2012; 735:1–8.

15. Totlandsdal A.I., Øvrevik J., Cochran R.E., Herseth J.I., Bølling A.K., Låg M., Schwarze P., Lilleaas E., Holme J.A., Kubátová A. The occurrence of polycyclic aromatic hydrocarbons and their derivatives and the proinflammatory potential of fractionated extracts of diesel exhaust and wood smoke particles. *J. Environ. Sci. Health. A. Tox. Hazard. Subst. Environ. Eng.* 2014; 49(4):383–396.

16. Wang J., Pui D.Y.H. Dispersion and filtration of carbon nanotubes (CNTs) and measurement of nanoparticle agglomerates in diesel exhaust // *Chem. Eng. Sci.* 2013; 85:69–76.

Поступила 29.06.2014

Контактная информация

Кирилл Сергеевич Голохваст,

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник,

доцент кафедры нефтегазового дела и нефтехимии,

директор Научно-образовательного центра по направлению нанотехнологии,

Дальневосточный федеральный университет,

690950, г. Владивосток, ул. Суханова, 8.

E-mail: droopy@mail.ru

Correspondence should be addressed to

Kirill S. Golokhvast,

PhD, Senior staff scientist,

Associate Professor of Department of Petroleum Engineering and Petrochemicals,

Director of Nanotechnology Research & Education Center,

Far Eastern Federal University,

8 Sukhanova Str., Vladivostok, 690950, Russian Federation.

E-mail: droopy@mail.ru