

УДК 614.715:613.15(571.63)

DOI: 10.36604/1998-5029-2021-80-66-72

ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ АТМОСФЕРНЫХ ВЗВЕСЕЙ ПЕТРОПАВЛОВСКА-КАМЧАТСКОГО И ЕЛИЗОВО ПО РЕЗУЛЬТАТАМ НЕСКОЛЬКИХ ЛЕТ ИССЛЕДОВАНИЙ

А.С.Холодов¹, К.Ю.Кириченко², К.С.Голохваст^{2,3}

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Дальневосточный геологический институт
Дальневосточного отделения Российской академии наук,
690022, г. Владивосток, пр-т 100-летия Владивостока, 159

²Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Дальневосточный федеральный университет», 690922, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10

³Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Тихоокеанский институт географии
Дальневосточного отделения Российской академии наук, 690041, г. Владивосток, ул. Радио, 7

РЕЗЮМЕ. Введение. Камчатский край – регион с малой плотностью населения и слабо развитым промышленным производством. Тем не менее, в крупных городах наблюдается ухудшение качества атмосферного воздуха, вызванное хозяйственной деятельностью. **Цель.** Изучить содержание взвешенных микроразмерных частиц (в частности, размером до 1 мкм и до 10 мкм) в воздухе г. Петропавловска-Камчатского и Елизово и провести сравнительный анализ с полученными ранее результатами экологического мониторинга атмосферной взвеси. **Материалы и методы.** Атмосферные взвеси изучали в снеге, который собирали во время снегопадов, чтобы исключить его вторичное загрязнение антропогенными аэрозолями. Талый снег анализировали на лазерном анализаторе частиц Fritsch Analysette 22 NanoTech (Германия). **Результаты.** Субмикронные частицы PM₁ обнаружены в пяти отобранных в Петропавловске-Камчатском пробах снега. Уровень частиц размером до 10 мкм не высок во всех пробах, и только в двух из шести районов отбора их доля доходит до 12%. Относительно результатов предыдущих исследований, содержание частиц до 1 мкм находится на том же уровне, что и в предыдущие годы, а содержание частиц до 10 мкм снизилось. В пробах из г. Елизово наблюдаются те же тенденции. По сравнению с 2018 г., когда почти во всех пробах было обнаружено высокое содержание частиц PM₁₀, доходившее до 57,2%, наблюдается тенденция к снижению содержания потенциально опасной для здоровья фракции атмосферной взвеси. **Заключение.** Получены обновленные данные по фракционному составу атмосферных взвесей в двух крупных населенных пунктах полуострова Камчатка. В пробах снега, собранных в Петропавловске-Камчатском и Елизово, обнаружены опасные для здоровья человека частицы фракций PM₁ и PM₁₀, хотя их содержание, в целом, ниже, чем в предыдущие годы исследования.

Ключевые слова: атмосферная взвесь, Петропавловск-Камчатский, Елизово, PM₁₀, загрязнение атмосферного воздуха.

PARTICLE SIZE DISTRIBUTION OF AIRBORNE PARTICULATE MATTER IN PETROPAVLOVSK-KAMCHATSKY AND YELIZOVO BASED ON THE RESULTS OF SEVERAL YEARS OF STUDY

A.S.Kholodov¹, K.Yu.Kirichenko², K.S.Golokhvast^{2,3}

¹Far Eastern Geological Institute of the Far East Branch RAS, 159 100-letiya Vladivostoka Ave., Vladivostok,
690022, Russian Federation

Контактная информация

Алексей Сергеевич Холодов, канд. геогр. наук, старший научный сотрудник лаборатории геохимии гипергенных процессов, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Дальневосточный геологический институт Дальневосточного отделения РАН, 690022, г. Владивосток, Россия, пр-т 100-летия Владивостока, 159. E-mail: alex.holodov@gmail.com

Correspondence should be addressed to

Aleksei S. Kholodov, PhD (Geogr.), Senior Staff Scientist, Laboratory of Geochemistry of Hypergenic Processes, Far East Geological Institute FEB RAS, 159 100-letiya Vladivostoka Ave., Vladivostok, 690022, Russian Federation. E-mail: alex.holodov@gmail.com

Для цитирования:

Холодов А.С., Кириченко К.Ю., Голохваст К.С. Гранулометрический состав атмосферных взвесей Петропавловска-Камчатского и Елизово по результатам нескольких лет исследований // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. 2021. Вып.80. С.66–72. DOI: 10.36604/1998-5029-2021-80-66-72

For citation:

Kholodov A.S., Kirichenko K.Yu., Golokhvast K.S. Particle size distribution of airborne particulate matter in Petropavlovsk-Kamchatsky and Yelizovo based on the results of several years of study. *Bulleten' fiziologii i patologii dyhaniâ* = *Bulletin Physiology and Pathology of Respiration* 2021; (80):66–72 (in Russian). DOI: 10.36604/1998-5029-2021-80-66-72

²Far Eastern Federal University, 10 Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok, 690922, Russian Federation

³Pacific Geographical Institute of the Far Eastern Branch RAS, 7 Radio Str., Vladivostok, 690041, Russian Federation

SUMMARY. Introduction. Kamchatka Krai is a region with low population density and poorly developed industry. However, in large cities the air quality is degraded due to economic activity. **Aim.** To study the concentration of airborne particulate matter (in particular, up to 1 μm and up to 10 μm) in Petropavlovsk-Kamchatsky and Yelizovo air and carry out a comparative analysis with the previously obtained results of environmental monitoring of atmospheric suspension. **Materials and methods.** Airborne particulate matter was studied in snow which was collected during snowfalls to avoid its secondary pollution by anthropogenic aerosols. The melted snow was analyzed on a Fritsch Analysette 22 NanoTech laser particle analyzer (Germany). **Results.** PM_{10} particles were found in five snow samples taken in Petropavlovsk-Kamchatsky. The quantity of PM_{10} is low in all samples, and only in two of six sampled areas it reaches 12%. Compared to the results of previous studies, the concentration of PM_{10} is at the same level as in previous years, and the content of PM_{10} has decreased. In samples from Yelizovo, the same trends are observed. Compared to 2018, when a high concentration of PM_{10} particles was found in almost all samples, reaching 57.2%, there is a trend towards a decrease in the concentration of the potentially hazardous PM fraction. **Conclusion.** Updated data on the particle size distribution of airborne particulate matter in two cities of the Kamchatka Peninsula were obtained. In the snow samples collected in Petropavlovsk-Kamchatsky and Yelizovo, we found PM_{10} and PM_{10} particles hazardous to human health, although their concentration is generally lower than in previous years of the study.

Key words: airborne particulate matter, Petropavlovsk-Kamchatsky, Yelizovo, PM_{10} , air pollution.

Одной из важнейших современных экологических проблем является загрязнение атмосферного воздуха в городах. Ухудшение качества приземного слоя атмосферы – один из геоиндикаторов изменения природной среды под воздействием урбанизации и хозяйственной деятельности человека. Атмосферный воздух населенных пунктов загрязнен нано- и микрочастицами, имеющими как природное, так и техногенное происхождение: составными частями выхлопных газов автомобилей, различными дымовыми выбросами, продуктами пыления производств, частицами почвы, переносимыми с потоками воздуха газо-аэрозольными примесями и др. [1–5]. Продолжительное воздействие высоких концентраций частиц взвеси на организм человека связывают с развитием патологических изменений в бронхолегочной системе, сердечно-сосудистых заболеваний и т.д. среди жителей крупных городов, а также населенных пунктов с неблагоприятной экологической обстановкой [2, 6].

Камчатский край – регион с очень малой плотностью населения, и промышленное производство на его территории развито слабо. Это обстоятельство определяет основной состав атмосферных взвесей региона, в которых основную массу составляют источники природного загрязнения, в частности вулканическая пыль, представляющая собой мельчайшие частицы пирокластического материала, горных пород, лавы и пепла. В городах воздух загрязняют предприятия энергетического сектора, автотранспорт, суда рыбопромыслового и морского флотов. Основной объем различных видов загрязнения воздуха сконцентрирован в г. Петропавловске-Камчатском и в Елизовском районе, где находится почти 80% промышленных объектов региона и проживает 70% населения [7].

Данная работа посвящена изучению содержания в атмосферном воздухе г. Петропавловска-Камчатского и Елизово взвешенных микрогазовых частиц, а

также проведению сравнительного анализа с полученными ранее результатами экологического мониторинга атмосферной взвеси [8–10].

Материалы и методы исследования

Петропавловск-Камчатский – административный центр региона и крупнейший его город. Население города в 2020 г. насчитывало 179,5 тыс. человек. Значительный вклад в состав атмосферной взвеси города вносят микрогазовые частицы с расположенных вблизи вулканов Авачинско-Коряжской группы (Коряжская сопка, Авачинская сопка и др.). Источники техногенного загрязнения в городе немногочисленны: это ТЭЦ и котельные, рыбоперерабатывающие предприятия, автотранспорт. Согласно официальным данным [11], уровень загрязнения воздуха в городе оценивается как низкий. В то же время, степень загрязнения воздуха в городе зависит от погодных условий и от сезона. При отсутствии активных атмосферных процессов, сопровождающихся ветрами и осадками, вредные примеси имеют тенденцию накапливаться в приземном слое атмосферы города [7]. Наибольшее количество осадков, промывающих приземный слой атмосферы, выпадает в зимний период. Пробы свежеснежного снега в Петропавловске-Камчатском собирали в декабре 2020 г. в тех же точках, что и в предыдущие три года исследования [8–10] (рис. 1).

Елизово – второй по численности жителей город Камчатского края с населением около 40 тыс. человек. В Елизово расположены единственный на полуострове международный аэропорт и ряд рыбоперерабатывающих предприятий. Несмотря на небольшое расстояние от центра региона, климат в городе существенно отличается, чем и обусловлен выбор его как объекта для исследования. Точки отбора проб в г. Елизово показаны на рисунке 2. Отбор проб снега в Елизово впервые провели в 2018 г. [10].

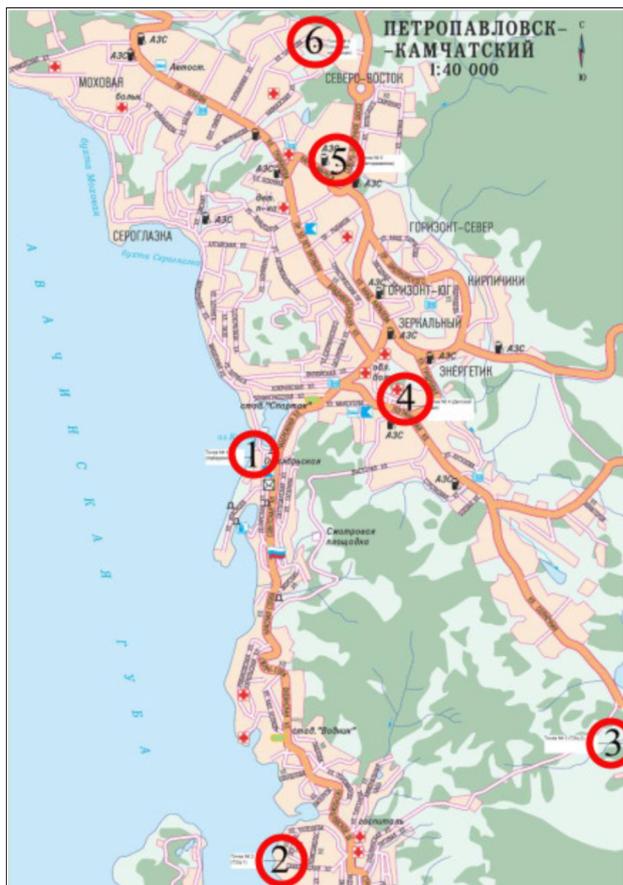


Рис. 1. Карта-схема мест отбора проб снега на территории г. Петропавловска-Камчатского: 1 – набережная в центре города; 2 – ТЭЦ 1 на ул. Сахалинская; 3 – ТЭЦ 2 на ул. Степная; 4 – Детский парк на ул. Пограничная; 5 – авторазвязка (кольцо Нового рынка); 6 – угольная котельная на ул. Чубарова

Атмосферные взвеси изучали в выпавшем снеге. Собирали только верхний слой (5–10 см) свежеснежившего снега с площади 1 м², чтобы исключить вторичное загрязнение антропогенными аэрозолями. Для отбора проб использовали стерильные пластиковые контейнеры объемом 2,5 л, тщательно промытые проточной и дистиллированной водой. Методика отбора проб свежеснежившего снега считается высокоинформативной [12, 13] и имеет ряд преимуществ: нет необходимости в пробоподготовке, можно сделать количественный и качественный анализ частиц взвеси, оценить водорастворимые органические соединения на поверхности частиц, саму их поверхность.

Контейнеры с пробами транспортировали в лабораторию научно-образовательного центра «Нанотехнологии» Политехнического института ДВФУ. В растаявших пробах снега определяли размеры частиц и фракционный состав. Жидкость взбалтывали, из каждого образца набирали аликвоту 100 мл жидкости и анализировали на лазерном анализаторе частиц Analysette 22 NanoTechplus (Fritsch, Германия), позволяющем в ходе одного измерения устанавливать распределение частиц по размерам, а также определять



Рис. 2. Карта-схема мест отбора проб снега на территории г. Elizovo: 1 – кольцо вблизи центрального рынка; 2 – котельная, сад, жилой микрорайон; 3 – территория районной больницы; 4 – стадион; 5 – район аэропорта; 6 – строительный комбинат. Участники © Openstreetmap.

их форму и ряд морфометрических параметров (средний диаметр, моду, медиану, отклонение, коэффициент отклонения). Каждую пробу измеряли три раза в режиме измерений *micro* (диапазон измерений от 0,08 до 2000 мкм). Результаты измерений, расчет для которых производится по уравнению Ми, указывают средний размер частиц и процентное соотношение частиц различной фракции. Для сравнения с ранее полученными результатами [8–10] измеренные частицы атмосферных взвесей разделили по размерам на 7 классов: 1) от 0,1 до 1 мкм (соответствует PM_{10}), 2) от 1 до 10 (соответствует PM_{10}), 3) от 10 до 50 мкм, 4) от 50 до 100 мкм, 5) от 100 до 400 мкм, 6) от 400 до 700 мкм и 7) более 700 мкм.

Результаты исследования и их обсуждение

Петропавловск-Камчатский

Сводные данные по гранулометрическому составу частиц, взвешенных в воздухе Петропавловска-Камчатского, приведены в таблице 1. Среди всех размерных фракций частиц атмосферной взвеси наибольший интерес представляют частицы диаметром до 1 и до 10 мкм, оказывающие влияние на здоровье человека [14].

Таблица 1

Распределение частиц (%) в снеге по фракциям в пробах, отобранных в Петропавловске-Камчатском

Фракция, Ø, мкм, %	Точки отбора проб в Петропавловске-Камчатском*					
	1	2	3	4	5	6
Менее 1	19,8	5,6	0	1,9	19,9	0,4
1-10	3,9	12,4	11,4	0	3,4	2,9
10-50	74,5	15,3	71,7	57	76,7	76,1
50-100	0	0	0	0,5	0	0
100-400	0	0	2,2	0	0	0
400-700	0	4,6	1	1,4	0	0
Более 700	1,8	62,1	13,7	39,2	0	20,6

Примечание: *описание точек отбора проб приведено на рисунке 1.

Субмикронные частицы PM_{10} обнаружены в пяти отобранных в Петропавловске-Камчатском пробах снега, причем в районе набережной и авторазвязки их доля доходит почти до 20% от всех частиц. Как известно, наночастицы с большой удельной площадью поверхности наиболее токсичны для живых организмов [1]. Уровень частиц PM_{10} невысок во всех пробах, и только в районе ТЭЦ 1 и ТЭЦ 2 их доля доходит до 12,4 и 11,4%, соответственно. В большинстве проб пре-

обладают частицы размерностью 10-50 мкм, их доля составляет от 57 до 76,7%, и только в пробе, отобранной возле ТЭЦ 1, их доля составляет 15,3%.

Поскольку пробы снега отбирали в одних и тех же местах в течение 4 лет, представляется возможным оценить изменение содержания наиболее опасных для респираторного тракта человека фракций атмосферной взвеси: PM_{10} и PM_{10} (рис. 3).

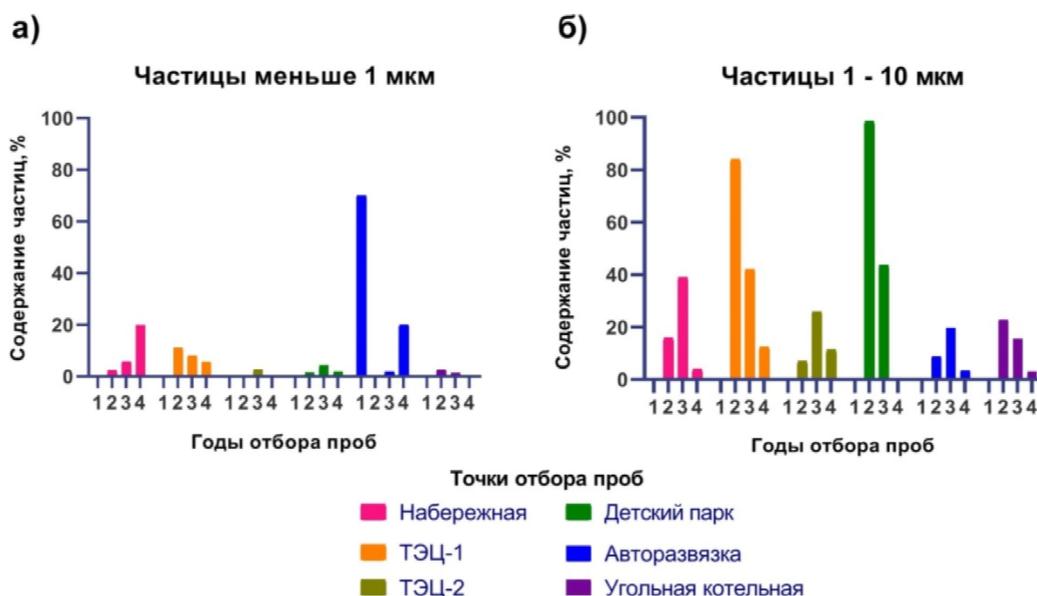


Рис. 3. Распределение частиц (%) PM_{10} и PM_{10} в пробах снега, отобранных в Петропавловске-Камчатском за четыре года исследований. По оси X приведены годы отбора проб: 1) – 2012-2013 гг., 2) – 2017 г., 3) – 2018 г., 4) – 2020 г.

Относительное содержание частиц субмикронного диапазона (рис. 3а) в точке отбора на набережной стабильно росло в течение всех лет наблюдений и в 2020 г. достигло 19,8%. В точке отбора возле ТЭЦ 1 относительное содержание этих частиц, напротив, постепенно снижалось с 11,1% в 2017 г. до 5,6% в 2020 г. В точках отбора возле ТЭЦ 2 и детского парка содержа-

ние этих частиц было близко к нулю во все годы исследования. Возле авторазвязки, после рекордного показателя в 70%, зафиксированного в 2012-2013 гг., относительное содержание частиц резко упало и только в 2020 г. снова был зафиксирован рост до 19,9%. На станции отбора возле котельной, работающей на угле, наблюдается низкий процент субмикронных ча-

стиц во все годы исследований. Максимальное значение – 2,5% в 2017 г.

Содержание частиц PM_{10} (рис. 3б) во всех пробах 2020 г. ниже, чем в прошлые годы исследования. Наибольшие доли PM_{10} за все время исследования были зафиксированы в 2017 г. в районе ТЭЦ 1 и детского парка (84 и 98,5% от общего количества частиц в пробах, соответственно). В следующий период отбора проб содержание этой фракции на данных точках снизилось в половину, и в 2020 г. данная тенденция продолжилась. В точках отбора, расположенных на набережной и возле ТЭЦ 2, в 2018 г. регистрировались повышенные доли частиц размером до 10 мкм – 39 и 25,7%, соответственно, а в 2020 г. наблюдалось снижение относительного содержания этой фракции на обеих точках отбора. В остальных пробах содержание этой фракции было невелико.

В целом, за весь период исследований наблюдается

тенденция к снижению относительного содержания частиц PM_{10} в атмосферных взвесах Петропавловска-Камчатского, проанализированных в пробах свежеснежного снега. Содержание частиц субмикронного диапазона находится приблизительно на одном уровне, хотя в некоторые годы наблюдались резкие скачки содержания этой фракции на отдельных точках измерений.

Елизово

Согласно полученным результатам гранулометрического анализа (табл. 2), в воздухе Елизово присутствуют частицы PM_{10} , содержание которых доходит до 20% в районе стадиона. Примечательно, что в точке отбора вблизи автомобильного кольца, где в 2018 г. было зафиксировано высокое содержание субмикронных частиц (29,7%), в 2020 г. частиц данной размерной фракции не обнаружено.

Таблица 2

Распределение частиц (%) в снеге по фракциям в пробах, отобранных в Елизово

Фракция, Ø, мкм, %	Точки отбора проб в Елизово*					
	1	2	3	4	5	6
Менее 1	0	6,2	12,4	20	0,2	0
1-10	0,4	0,1	1,5	15,7	36,3	0
10-50	70,9	52,3	49,1	55,8	18,7	0
50-100	0	1,3	0,1	0	0	0
100-400	0	0,4	0	0	0	60
400-700	0,8	0,3	0	0,1	1,5	0
Более 700	27,9	39,4	36,9	8,4	43,3	40

Примечание: *описание точек отбора проб приведено на рисунке 2.

Во всех пробах, отобранных в 2020 г., содержание фракции PM_{10} низкое, за исключением точек отбора недалеко от аэропорта (36,3%) и стадиона (15,7%). Следует отметить, что в 2018 г. в районе аэропорта было также зафиксировано высокое содержание PM_{10} (32,5%). В целом же, по сравнению с 2018 г., когда почти во всех пробах было обнаружено высокое содержание частиц PM_{10} , доходившее до 57,2%, наблюдается тенденция к снижению содержания потенциально опасной для здоровья фракции атмосферной взвеси.

Практически во всех пробах в Елизово преобладают частицы размерности 10-50 мкм. Таким образом, зимой 2020 г. в Елизово также наблюдался тренд на снижение содержания микроразмерной взвеси диаметром до 10 мкм в атмосферном воздухе. Уровни содержания взвеси до 1 мкм были сопоставимы с данными предыдущего исследования.

Заключение

В результате проведенных исследований получены обновленные данные по фракционному составу атмо-

сферных взвесей в крупных населенных пунктах полуострова Камчатка. В пробах снега, собранных в Петропавловске-Камчатском и Елизово, обнаружены наиболее опасные для здоровья человека частицы фракций PM_1 и PM_{10} . Концентрация субмикронных частиц в этих городах доходит до 20% в трех из двенадцати точек отбора проб, что в целом находится на уровне данных, полученных в предшествующие годы исследования.

Концентрации частиц PM_{10} в пробах из обоих городов показывают тенденцию к снижению, в ряде проб практически до нулевых значений, что, безусловно, является признаком меньшего антропогенного пресса в период пробоотбора.

Камчатка – край с большим туристическим потенциалом, и состоянию атмосферного воздуха в городах региона необходимо уделять особое значение. Важно, чтобы рост автомобилизации населения и эксплуатация объектов энергетического комплекса, которые являются источником выброса в атмосферу нано- и микрочастиц, не сказались на экологической привлек-

кательности полуострова.

Конфликт интересов

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest

Источники финансирования

Исследование проводилось без участия спонсоров

Funding Sources

This study was not sponsored

ЛИТЕРАТУРА

1. Голохваст К.С. Атмосферные взвеси городов Дальнего Востока: монография / отв. ред. Н.К.Христофорова. Владивосток: Дальневост. федерал. ун-т. 2013. 178 с. ISBN 978-5-7444-3244-7
2. Симонова И.Н., Антонюк М.В., Виткина Т.И. Влияние наночастиц воздушной среды на состояние бронхолегочной системы // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. 2013. Вып.49. С.115–120.
3. Кондратьев И.И. Трансграничный атмосферный перенос аэрозоля и кислотных осадков на Дальний Восток России / Владивосток: Дальнаука, 2014. 300 с.
4. Brines M., Dall'Osto M., Beddows D.C.S., Harrison R.M., Gómez-Moreno F., Núñez L., Artíñano B., Costabile F., Gobbi G.P., Salimi F., Morawska L., Sioutas C., Querol X. Traffic and nucleation events as main sources of ultrafine particles in high-insolation developed world cities // Atmos. Chem. Phys. 2015. Vol.15. P.5929–5945. doi:10.5194/acp-15-5929-2015
5. Vu T.V., Delgado-Saborit J.M., Harrison R.M. Review: particle number size distributions from seven major sources and implications for source apportionment studies // Atmos. Environ. 2015. Vol.122. P.114–132. doi: 10.1016/j.atmosenv.2015.09.027
6. Brook R.D., Franklin B., Cascio W., Hong Y., Howard G., Lipsett M., Luepker R., Mittleman M., Samet J., Smith Jr. S.C., Tager I. Air pollution and cardiovascular disease: a statement for healthcare professionals from the Expert panel on population and prevention science of the American Heart Association // Circulation. 2004. Vol.109, №21. P.2655–2671. doi: 10.1161/01.CIR.0000128587.30041.C8
7. Трямкина Е.А., Бородина В.В. Особенности загрязнения воздуха Петропавловска-Камчатского // Успехи современного естествознания. 2014. №8. С.78–79.
8. Голохваст К.С., Жаков В.В., Никифоров П.А., Чайка В.В., Романова Т.Ю., Карабцов А.А. Атмосферные взвеси Петропавловска-Камчатского по данным загрязнения снежного покрова: экологический анализ // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. 2014. Вып.53. С.89–94.
9. Кириченко К.Ю., Дрозд В.А., Голохваст К.С. Исследование загрязнения атмосферы Петропавловска-Камчатского с помощью лазерной гранулометрии // Материалы 8-й Международной научно-практической конференции «Экологические проблемы промышленных городов» / под ред. Е.И.Тихомировой. Саратов, 2017. С.144–148.
10. Кириченко К.Ю., Вахнюк И.А., Дрозд В.А., Голохваст К.С. Исследование загрязнения атмосферы населенных пунктов Камчатского края с помощью лазерной гранулометрии // Вестник КамчатГТУ. 2018. №46. С.86–94. doi: 10.17217/2079-0333-2018-46-86-94
11. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды / Петропавловск-Камчатский: ФГБУ «Камчатское УГМС», 2020. URL: <http://kammeteo.ru/obzor/cms-god.pdf> (дата обращения: 28.12.2020).
12. Liu Y., Fu B., Liu C., Shen Y., Liu H., Zhao Z., Wei T. Scavenging of atmospheric particulates by snow in Changji, China // Global NEST J. 2018. Vol.20, №3. P.471–476. doi: 10.30955/gnj.002548
13. Shevchenko V.P., Lisitzin A.P., Vinogradova A.A., Starodymova D.P., Korobov V.B., Novigatsky A.N., Kokryatskaya N.M., Pokrovsky O.S. Dispersed sedimentary matter of the atmosphere // Biogeochemistry of the atmosphere, ice and water of the White Sea / eds. A.Lisitsyn, V.Gordeev. Cham, Switzerland: Springer, 2018. P.9–46. doi: 10.1007/978-3-319-7348-3_348
14. Холодов А.С., Кириченко К.Ю., Задорнов К.С., Голохваст К.С. Влияние твердых взвешенных частиц атмосферного воздуха населенных пунктов на здоровье человека // Вестник КамчатГТУ. 2019. №49. С.81–88. doi: 10.17217/2079-0333-2019-49-81-88.

REFERENCES

1. Golokhvast K.S. Urban atmospheric suspensions of the Russian Far East: monograph. Vladivostok: Far Eastern Federal University; 2013. ISBN 978-5-7444-3244-7 (in Russian).
2. Simonova I.N., Antonyuk M.V., Vitkina T.I. The Influence of nanoparticles from the air on the state of bronchopulmonary system. *Bulleten' fiziologii i patologii dyhaniâ = Bulletin Physiology and Pathology of Respiration* 2013; (49):115–120 (in Russian).
3. Kondratyev I.I. Transboundary atmospheric transport of aerosol and acid precipitation to the Russian Far East. Vladivostok: Dalnauka; 2014 (In Russian).
4. Brines M., Dall'Osto M., Beddows D.C.S., Harrison R.M., Gómez-Moreno F., Núñez L., Artíñano B., Costabile F.,

- Gobbi G.P., Salimi F., Morawska L., Sioutas C., Querol X. Traffic and nucleation events as main sources of ultrafine particles in high-insolation developed world cities. *Atmos. Chem. Phys.* 2015; 15:5929–5945. doi:10.5194/acp-15-5929-2015
5. Vu T.V., Delgado-Saborit J.M., Harrison R.M. Review: particle number size distributions from seven major sources and implications for source apportionment studies. *Atmos. Environ.* 2015; 122:114–132. doi: 10.1016/j.atmosenv.2015.09.027
6. Brook R.D., Franklin B., Cascio W., Hong Y., Howard G., Lipsett M., Luepker R., Mittleman M., Samet J., Smith Jr. S.C., Tager I. Air pollution and cardiovascular disease: a statement for healthcare professionals from the Expert panel on population and prevention science of the American Heart Association. *Circulation* 2004; 109(21):2655–2671. doi: 10.1161/01.CIR.0000128587.30041.C8
7. Tryamkina E.A., Borodina V.V. Features of air pollution in Petropavlovsk-Kamchatsky. *Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya = Advances in current natural sciences* 2014; (8):78–79 (in Russian).
8. Golokhvast K.S., Zhakov V.V., Nikiforov P.A., Chaika V.V., Romanova T.Yu., Karabtsov A.A. Atmospheric suspensions of Petropavlovsk-Kamchatsky city according to snow pollution: ecological analysis. *Bulleten' fiziologii i patologii dyhaniâ = Bulletin Physiology and Pathology of Respiration* 2014; (53):89–94 (in Russian).
9. Kirichenko K.Yu. Drozd V.A., Golokhvast K.S. Research on pollution of the atmosphere of Petropavlovsk-Kamchatsky with laser granulometry. In: Proceedings of the 8-th international scientific conference "Environmental problems of industrial cities". Saratov; 2017: 144–148 (in Russian).
10. Kirichenko K.Y. Vakhniuk I.A., Drozd V.A., Golokhvast K.S. Study of the atmospheric pollution of Kamchatskiy Krai settlements by laser granulometry. *Vestnik KamchatGTU = Bulletin of Kamchatka State Technical University* 2018; (46):86–94 (in Russian). doi: 10.17217/2079-0333-2018-46-86-94
11. Review of the state and pollution of the environment. Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatka Department of Hydrometeorology and environmental monitoring; 2020. Available at: <http://kammeteo.ru/obzor/cms-god.pdf> (in Russian).
12. Liu Y., Fu B., Liu C., Shen Y., Liu H., Zhao Z., Wei T. Scavenging of atmospheric particulates by snow in Changji, China. *Global NEST J.* 2018; 20(3):471–476. doi: 10.30955/gnj.002548
13. Shevchenko V.P., Lisitzin A.P., Vinogradova A.A., Starodymova D.P., Korobov V.B., Novigatsky A.N., Kokryatskaya N.M., Pokrovsky O.S. Dispersed sedimentary matter of the atmosphere. In: Biogeochemistry of the atmosphere, ice and water of the White Sea. Eds. A.Lisitsyn, V.Gordeev. Cham, Switzerland: Springer; 2018. doi: 10.1007/698_2018_348
14. Kholodov A.S., Kirichenko K.Y., Zadornov K.S., Golokhvast K.S. Effect of particulate matter in the air of residential areas on human health. *Vestnik KamchatGTU = Bulletin of Kamchatka State Technical University* 2019; 49:81–88 (in Russian). doi: 10.17217/2079-0333-2019-49-81-88

Информация об авторах:

Алексей Сергеевич Холодов, канд. геогр. наук, старший научный сотрудник лаборатории геохимии гипергенных процессов, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Дальневосточный геологический институт Дальневосточного отделения РАН, e-mail: alex.holodov@gmail.com

Константин Юрьевич Кириченко, канд. биол. наук, доцент Департамента природно-технических систем и техносферной безопасности, Политехнический институт, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Дальневосточный федеральный университет»; e-mail: kirichenko2012@gmail.com

Кирилл Сергеевич Голохваст, д-р биол. наук, член-корреспондент РАО, профессор РАН, профессор Департамента природно-технических систем и техносферной безопасности, Политехнический институт, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Дальневосточный федеральный университет»; ведущий научный сотрудник лаборатории экологии и охраны животных, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Тихоокеанский институт географии Дальневосточного отделения РАН; e-mail: droopy@mail.ru

Author information:

Aleksei S. Kholodov, PhD (Geogr.), Senior Staff Scientist, Laboratory of Geochemistry of Hypergenic Processes, Far East Geological Institute FEB RAS, e-mail: alex.holodov@gmail.com

Konstantin Yu. Kirichenko, PhD (Biol.), Associate Professor, Department of Natural and Technical Systems and Technosphere Safety, Polytechnic Institute, Far Eastern Federal University; e-mail: kirichenko2012@gmail.com

Kirill S. Golokhvast, PhD, DSc (Biol.), Professor, Department of Natural and Technical Systems and Technosphere Safety, Polytechnic Institute, Far Eastern Federal University; Leading Staff Scientist of Laboratory of Ecology and Animals Protection, Pacific Geographical Institute FEB RAS; e-mail: droopy@mail.ru

Поступила 26.04.2021
Принята к печати 12.05.2021

Received April 26, 2021
Accepted May 12, 2021