

РАЗДЕЛ I. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 502.3(571.63)

**К.Ю. Кириченко, А.С. Холодов, И.А. Вахнюк, Д.С. Гусев,
А.В. Кирьянов, В.А. Дрозд, К.С. Голохваст**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА
МЕЛКОДИСПЕРСНОЙ УГОЛЬНОЙ ПЫЛЬЮ (г. НАХОДКА, ПРИМОРСКИЙ КРАЙ)**

Обсуждаются результаты изучения загрязнения атмосферного воздуха г. Находка взвешенными частицами угольной пыли. С помощью комбинации новейших аналитических методов проведены измерения их количественной и массовой концентрации в воздушном бассейне города, в отобранных в 2018 и 2019 гг. В разных районах города в пробах снега определен и проанализирован гранулометрический состав частиц угольной пыли, изучены их морфологические особенности. На основе результатов проведенного исследования построена карта-схема распространения угольной пыли от источника загрязнения. Полученные результаты свидетельствуют о значительном содержании угольной пыли в атмосферном воздухе территорий, прилегающих к угольным терминалам.

Ключевые слова: атмосферные взвеси, загрязнение атмосферного воздуха, РМ, угольная пыль, микрочастицы, город Находка, Приморский край.

**K.Yu. Kirichenko, A.S. Kholodov, I.A. Vakhniuk, D.S. Gusev,
A.V. Kiryanov, V.A. Drozd, K.S. Golokhvast**

**RESEARCH OF AIR POLLUTION WITH FINE COAL DUST
(NAKHODKA, PRIMORSKY KRAI)**

The study results of atmospheric air pollution with suspended coal dust particles in Nakhodka are discussed in the article. Using a combination of advanced analytical techniques the measurements of their quantitative and mass concentrations in the air basin were made. The coal dust particle size distribution in the snow samples selected in 2018 and 2019 from different parts of the town was detected and analyzed, and their morphological characteristics were investigated. On the basis of the study results, a map-scheme of coal dust distribution from the source of pollution was plotted. The obtained results indicate significant coal dust content in the atmospheric air of the territories adjacent to the coal terminals.

Key words: atmospheric suspensions, atmospheric air pollution, PM, coal dust, microparticles, Nakhodka, Primorsky Krai.

DOI: 10.17217/2079-0333-2019-50-6-13

Введение

Находкинский городской округ расположен на побережье залива Находка (Японское море) в 170 км юго-восточнее Владивостока. Это – третий по величине город Приморского края. Численность населения Находки на начало 2019 г. превышала 147 тыс. человек. Город расположен на самом берегу залива, но отрезан от береговой линии портовой зоной. Климат на территории Находкинского городского округа относится к умеренно муссонному, с интенсивным переносом воздушных масс в зимний период с материка на море и обратным процессом в летний период.

Агломерация Находка – порт Восточный – крупнейший транспортный узел России на Тихом океане. В черте города расположены пять терминалов, занимающихся отгрузкой угля различных марок открытым способом. Грузооборот угля за 2017 г. составил в порту Находка 13,6 млн т, в порту Восточном – 32,4 млн т [1]. Это 30% всего экспортного угля России [2].

Угольная пыль, образующаяся при добыче, перевалке и переработке угольного сырья, является сильнейшим загрязнителем воздуха, провоцирующим целый спектр респираторных заболеваний, среди которых пневмокониоз, хроническое обструктивное легочное заболевание, диффузный фиброз, хронический бронхит и другие хронические респираторные заболевания [3–5]. По данным Управления Роспотребнадзора по Приморскому краю, в 2017 г. среди всех проб атмосферного воздуха в крае наибольший процент неудовлетворительных по взвешенным веществам отмечался на территории г. Находка (8,5% от всех проб), что связывают с перевалкой угля открытым способом [1]. Кроме того, значительная доля угольной пыли смывается водными

пушками в море, что вызывает его загрязнение [6]. Рост объемов грузоперевозок влияет на показатели здоровья людей, а они, безусловно, должны превалировать над экономическим эффектом и выручкой предприятий.

Данная работа продолжает серию исследований, посвященных влиянию перевалки угля открытым способом на окружающую среду [7–9]. В работе использована комбинация новейших аналитических методов, позволяющих определить количественный и качественный состав частиц угольной пыли, составить карты-схемы интенсивности распространения угольной пыли от источника.

Материалы и методы

Количественный состав взвешенных частиц

Для измерения количественного состава взвешенных частиц использовали ручной лазерный счетчик частиц AeroTrak Handheld Particle Counter 9306 (производства США), соответствующий всем требованиям ISO 21501-4. Измерения производили в ноябре 2018 г. в районах города, показанных на рис. 1.

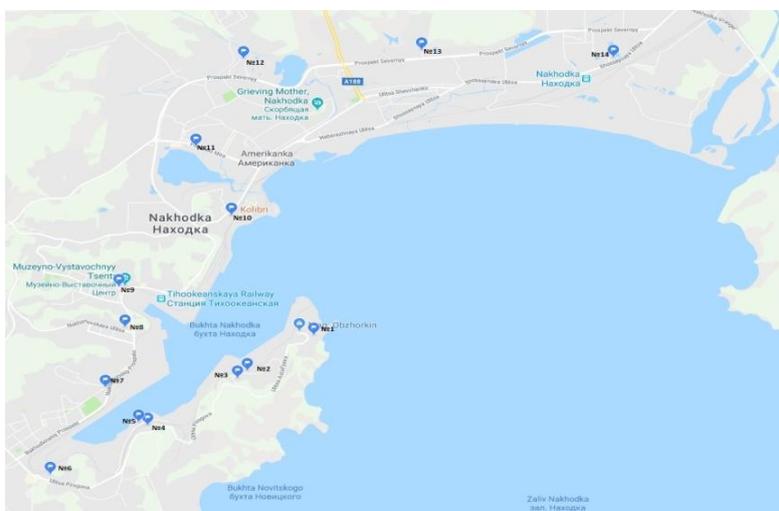


Рис. 1. Карта-схема точек измерения количественного состава взвешенных частиц на территории г. Находка

Всего было произведено 14 измерений в жилых кварталах, расположенных вблизи промышленных предприятий, занимающихся перевалкой угля, в том числе и в границах санитарно-защитной зоны (м. Астафьева). Учитывая род деятельности предприятия, очевидно, что условия жизни людей в границах санитарно-защитной зоны могут быть приравнены к постоянному нахождению в производственных условиях. Данные по локационной привязке точек отбора и общему количеству измеренных взвешенных частиц приведены в табл. 1. Измерения выполняли при температуре воздуха около 14°C и слабом юго-восточном ветре.

Таблица 1

Точки измерения количественного состава взвешенных частиц в г. Находка и общее количество измеренных частиц

№	Описание точки измерения	Общее количество измеренных взвешенных частиц, тыс./л
1	Ул. Пирогова, д. 23а	92,21429
2	Ул. Астафьева, д. 13	77,35714
3	Ул. Астафьева, д. 3а	31,92857
4	Ул. Крабовая, д. 1	25,82143
5	Ул. Судоремонтная, д. 23	29,96429
6	Ул. Пирогова, д. 1б	37,17857
7	Находкинский проспект, д. 72	31,89286
8	Ул. Нахимовская, д. 6	190,2857
9	Ул. Владивостокская, д. 3	37,10714
10	Ул. Портовая, д. 3	29,89286
11	Проспект Мира, д. 49	60,25
12	Ул. Сидоренко, д. 10	197,6071
13	Ул. Сахалинская, д. 41	40,64286
14	Ул. Шоссейная, д. 207	77,5

Массовая концентрация взвешенных частиц

Для контроля содержания взвешенных в атмосферном воздухе частиц была выбрана размерная фракция 10 мкм (PM₁₀), которая хоть и не является самой опасной для здоровья человека, но, тем не менее, представляет значительную угрозу [10, 11].

Пробы взвешенных частиц отбирали пробоотборником аспираторного типа LVS 3.1 (Ingeniero Nobert Derenda, Германия) с насадкой для отбора частиц PM₁₀ на фильтры типа MG 160 без связующих, с диаметром рабочей поверхности 47 мм (Munktell). Отбор был осуществлен в ноябре 2018 г. в следующих точках: 1) ул. Арсеньева, д. 7; 2) ул. Астафьева, д. 23; 3) ул. Спортивная, д. 6; 4) ул. Нахимовская, д. 6; 5) ул. Сидоренко, д. 10. Время отбора проб в каждой точке составляло 24 ч. Температура воздуха в период отбора составляла 8–13°C, скорость ветра – 1–3 м/с.

Объем пропускаемого через пробоотборник воздуха соответствовал 2,8 м³/час. Через 24 ч происходила смена места отбора проб и замена фильтра, далее цикл повторялся. Фильтры с пробами атмосферных взвесей транспортировали в лабораторию НОЦ «Нанотехнологии» Инженерной школы ДВФУ для дальнейшего определения концентрации частиц фракции PM₁₀ и морфологического анализа частиц.

Запыленность воздуха измеряли путем взвешивания фильтров на аналитических весах до и после отбора проб. Перед взвешиванием фильтры высушивались в термостате ТС-1/20 (Россия) в течение 24 ч при температуре 40°C. Каждый фильтр взвешивали пятикратно, с определением среднеарифметического значения, на электронных весах Sartorius (Германия). Полученная разница веса фильтров до и после проведения процедуры отбора проб воздуха соответствовала осевшей массе частиц атмосферных взвесей фракции PM₁₀.

Гранулометрический состав проб снега

Отбор проб для анализа гранулометрического состава снега производили стерильными пластиковыми контейнерами емкостью 1 л. Перед проведением отбора проб емкости тщательно промывали один раз проточной водой и два раза дистиллированной. Для предотвращения повторного техногенного загрязнения отбирали только верхний слой снега толщиной 5–10 см. Пробы отбирали зимой в 2018 и 2019 гг. сразу после окончания снегопада на южной стороне бух. Находка (м. Астафьева) и на северной ее стороне, в основной части города. Карта-схема района отбора проб снега приведена на рис. 2.



Рис. 2. Карта-схема точек отбора проб снега на территории г. Находка.

Точки отбора проб соответствуют адресам:

- 1 – ул. Астафьева, д. 3;
- 2 – Находкинский проспект, д. 86;
- 3 – Находкинский проспект, д. 64а;
- 4 – ул. Красноармейская, д. 7;
- 5 – ул. Лебяжья, д. 78

Морфологический анализ частиц угольной пыли

Для изучения строения частиц были отобраны образцы угля с площадок складирования стивидорных компаний г. Находка. Морфологический анализ частиц угольной пыли проводили с использованием прибора Malvern Morphologi G3-ID (Malvern Instruments Ltd, UK). Данный

дисперсионный микроскоп оснащен диодным лазером 785 нм с результирующей мощностью лазера на образце 4мВт в режиме малой мощности. Использование микрорамановской спектроскопии позволяет определить размер и основной химический состав каждой отдельно взятой частицы в навеске [12].

Результаты и обсуждение

Количественный анализ взвешенных частиц

На рис. 3 представлена карта-схема г. Находка с изолиниями распространения пылевых частиц от источника загрязнения, построенная с использованием данных количественного анализа взвешенных частиц фракции PM_{10} . На схеме четко прослеживаются источники атмосферного загрязнения, характер и дальность распространения частиц. Показано, что портовые терминалы являются эпицентром выброса пылевых частиц в атмосферный воздух.

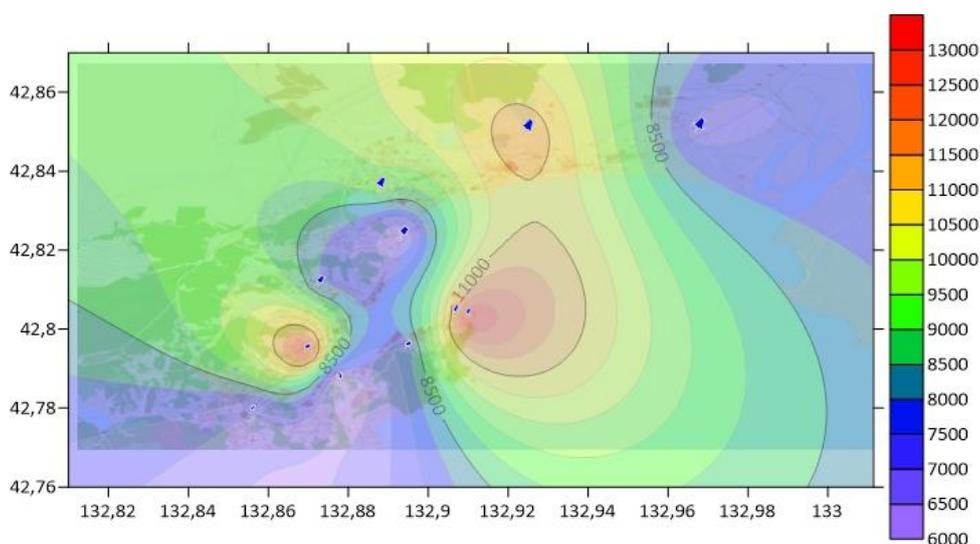


Рис. 3. Карта-схема г. Находка с изолиниями распространения пылевых частиц фракции PM_{10} от источника загрязнения

Измерение массовой концентрации взвешенных частиц фракции PM_{10}

Сопоставление результатов измерений массовой концентрации взвешенных частиц PM_{10} с российскими и некоторыми зарубежными стандартами приведено в табл. 2

Таблица 2

Сопоставление концентраций частиц фракции PM_{10} в г. Находка по данным измерения массовой концентрации взвешенных частиц с ПДК

Наименование	Концентрация PM_{10} (мг/м ³). Номер фильтра соответствует расположению пробоотборника в точках отбора проб				
	Фильтр 1	Фильтр 2	Фильтр 3	Фильтр 4	Фильтр 5
Концентрация частиц фракции PM_{10}	0,03± ±0,0001	0,04± ±0,0001	0,04± ±0,0001	0,05± ±0,0001	0,03± ±0,0002
ГН 2.1.6.2604-10 (РФ)	0,06				
ГН 2.1.6.9-11-2004 (Беларусь)	0,05				
US EPA NAAQS (USA) [14]*	0,05				

*В таблицу для сравнения внесены данные зарубежного норматива, который, как и стандарт Республики Беларусь, выдвигает более жесткие требования к содержанию в воздухе частиц фракции PM_{10} .

Согласно результатам измерений, концентрации частиц PM_{10} не превышают значений предельно допустимых концентраций, изложенных в нормативных документах, но приближаются к их пороговым значениям (табл. 2). При сопоставлении данных необходимо учитывать, что в угольной пыли содержатся тяжелые металлы (Pb, Cr, Cd, Ni, Cu, Co, Zn и др.), оказывающие токсическое воздействие на организм человека [11, 13].

Гранулометрический анализ

Размеры частиц и процентное соотношение фракций в пробах взвеси на станциях отбора свежеснегавпавшего снега приведены в табл. 3.

Таблица 3

Распределение частиц по размерным фракциям на станциях отбора снега в Находке

№ точки отбора	Фракция, мкм, %						
	Менее 1	1–10	10–50	50–100	100–400	400–700	Более 700
1	0	22	78	0	0	0	0
2	0,8	3,7	23,2	16,4	35,2	20	0,7
3	2,6	9,8	72,8	9,1	0	1,1	4,6
4	0,2	5,8	29,1	4	6,2	33,7	21
5	2,3	10,1	33,3	4,9	19,7	15,6	14,1

Из представленной табл. 3 видно, что в пробах снеговой воды из г. Находка фракция PM_{10} составляет от 3,7 до 22% (в среднем 13,07%). В пробах, отобранных недалеко от портов, наблюдаются крайне высокие уровни потенциально опасной фракции взвеси PM_{50} от 72,8 до 78,0% (пробы 3, 1). В точке отбора на м. Астафьева, в жилом квартале, расположенном в границах санитарно-защитной зоны предприятия, занимающегося перевалкой угля, зафиксировано максимальное содержание частиц с диаметром до 50 мкм – 78%. Подобные данные были зафиксированы здесь и ранее, в 2017 г. Тогда содержание частиц диаметром до 50 мкм находилось на уровне от 71,5 до 86,5% [8].

Гранулометрические кривые распределения атмосферной взвеси в Находке приведены на рис. 4, достоверные диапазоны колебания средних размерных характеристик взвешенных частиц рассчитаны с помощью пакета STATISTICA.

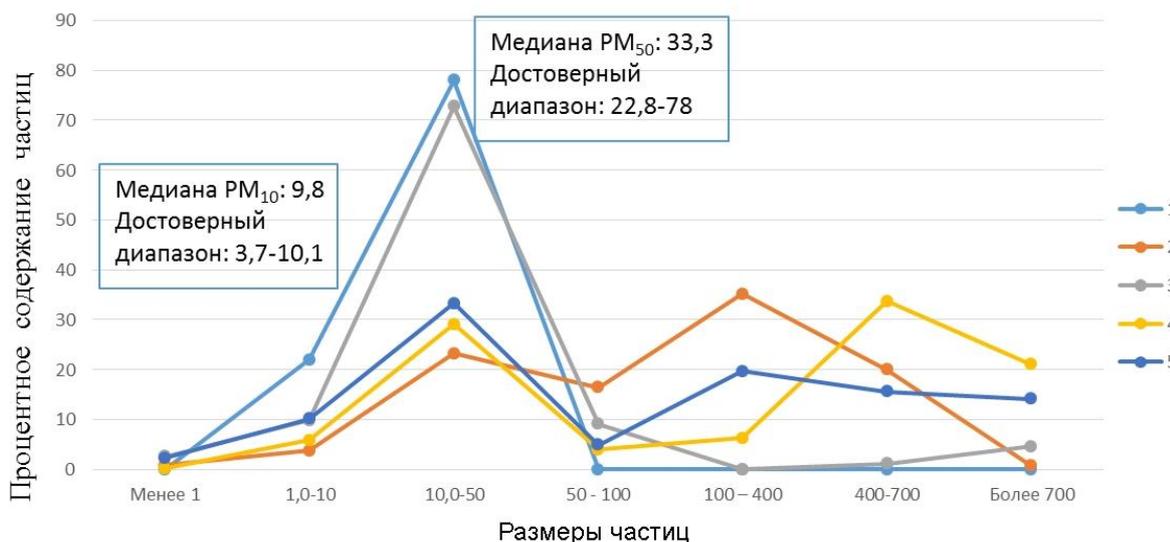


Рис. 4. Гранулометрические кривые распределения атмосферной взвеси г. Находка

Изучение морфологии и размерного состава частиц угольной пыли

Результаты морфологических исследований образцов угольной пыли показали множество вариаций геометрических форм частиц. На рис. 5 представлены наиболее распространенные из них, их изображения были получены с помощью дисперсного микроскопа Malvern Morphologi G3-ID.

Микроскопические исследования показали, что взвешенные угольные частицы имеют обычно вытянутую форму, достигают 18,50 мкм в длину и 4,11 мкм в ширину. Количественное распределение разноразмерных частиц показано на графике (рис. 6). Представленные на нем данные свидетельствуют о том, что наибольшее количество взвешенных частиц находится в диапазоне от 1 до 10 мкм.



Рис. 5. Морфология наиболее типичных частиц угольной пыли

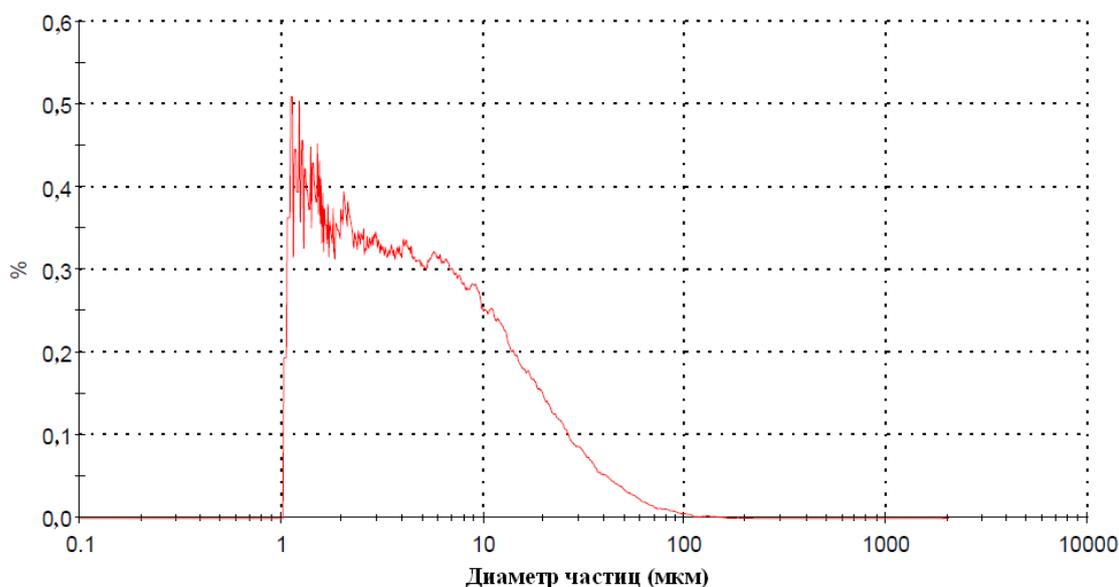


Рис. 6. График соотношения процентного содержания частиц и диаметра частиц

Заключение

Полученные в ходе проведения исследований данные позволяют судить о составе и распространении в разных районах города частиц угольной пыли, образующейся в районе его портовых терминалов. Несмотря на тот факт, что в период отбора проб массовые концентрации взвешенных частиц угольной пыли PM_{10} были в пределах гигиенической нормы, полученные в ходе исследования результаты свидетельствуют об их предельном содержании в атмосферном воздухе территорий, прилегающих к угольным терминалам. Очевидно, что объем загрязненных атмосферных взвесей напрямую зависит от мероприятий, предпринимаемых операторами и руководством портов по защите окружающей среды от вредного воздействия перевалки грузов.

Вместе с тем следует учитывать, что продолжительное воздействие частиц пыли фракции PM_{10} негативно сказывается на здоровье населения близлежащих районов.

В целях предотвращения негативного воздействия угольной пыли на жителей города необходимо разработать и внедрить в практическое использование эффективную систему минимизации распространения угольной пыли за пределы предприятий, проводить систематический мониторинг ее содержания в воздухе и морской воде.

Работа выполнена при поддержке Гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук (МК-2461.2019.5) и финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-05-50010.

Авторы выражают благодарность ЦКП научным оборудованием ДВФУ за предоставленную возможность его использования в ходе настоящего исследования.

Литература

1. Доклад об экологической ситуации в Приморском крае в 2017 году [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.primorsky.ru/upload/medialibrary/444/444fa69f481621fa643852c5e8415a97.pdf>.
2. Порт – Находка для экспортёра. Апостолы в угольной пыли: проблемы и перспективы крупнейшего дальневосточного порта [Электронный ресурс]. – URL: <https://vgudok.com/rassledovaniya/port-nahodka-dlya-eksportyora-apostoly-v-ugolnoy-pyli-problemy-i-perspektivy>.
3. *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). – P. 1178–1185.
4. *Laney A.S., Weissman D.N.* Respiratory diseases caused by coal mine dust // *Journal of Occupational and Environmental Medicine*. – 2014. – № 56 (10S). – P. 18–22.
5. Экологический мониторинг в районах угледобычи / *Ю.А. Манаков, А.Н. Куприянов, Т.О. Стрельникова, В.И. Уфимцев, О.А. Куприянов, М.М. Силантьева, А.Ю. Гребенникова, К.С. Голохваст, С.В. Лукьянцев*. – Новосибирск: Академ. изд-во «ГЕО», 2017. – 208 с.
6. Влияние угольного терминала на состав морских взвесей залива Находка (Японское море) / *А.А. Лебедев, О.А. Тихонова, Я.Ю. Блиновская, В.В. Чайка, А.В. Кирьянов, Н.К. Христофорова, К.С. Пикула, В.П. Шевченко, К.С. Голохваст* // *Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета*. – 2017. – № 48. – С. 195–201.
7. Угольные терминалы в Приморском крае – источник микроразмерного загрязнения атмосферы / *Е.А. Филонова, А.С. Холодов, В.В. Чайка, В.В. Кодинцев, В.А. Дрозд, Я.Ю. Блиновская, К.С. Голохваст* // *Проблемы региональной экологии*. – 2016. – № 5. – С. 104–106.
8. The study of pollution of atmospheric particulate matter with coal dust in Nakhodka city / *K.Yu. Kirichenko, V.B. Savranskiy, V.A. Drozd, A.S. Kholodov, K.S. Golokhvast* // *AIP Conf. Proc.* – 2017. – № 1874. – P. 040016-1–040016-3.
9. Coal terminal in urban settlement Posyet (Primorsky Krai, Russia) causes micro-sized pollution of the atmosphere / *A. Kholodov, A. Lebedev, V. Drozd, S. Ugay, K. Golokhvast* // *E3S Web Conf.* – 2018. – № 41. – P. 02014-1–02014-5.
10. Ultrafine particles in urban air and respiratory health among adult asthmatics / *K.L. Penttinen, P. Timonen, A. Tiittanen, J. Mirme, J. Ruuskanen, P. Pekkanen* // *European Respiratory Journal*. – 2001. – № 17(3). – P. 428–435.
11. Влияние твердых взвешенных частиц атмосферного воздуха населенных пунктов на здоровье человека / *А.С. Холодов, К.Ю. Кириченко, К.С. Задорнов, К.С. Голохваст* // *Вестник Камчатского государственного технического университета*. – 2019. – № 49. – С. 81–88.
12. *Kholodov A.S., Golokhvast K.S.* Complex research of the particles which cause air pollution by laser granulometry, Raman-spectrometry and IR-spectrometry // *Proc. SPIE* – 2016. – № 10176 – P. 101760N-1–101760N-6.
13. Potential harmful elements in coal dust and human health risk assessment near the mining areas in Cherat, Pakistan / *M. Ishtiaq, N. Jehan, S.A. Khan, S. Muhammad, U. Saddique, B. Iftikhar, Zahidullah* // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2018. – № 25(15). – P. 14666–14673.
14. National Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter; Final Rule. 40 CFR Part 50 // *Environmental Protection Agency*. – 1997. – P. 38652–38655.

Информация об авторах Information about the authors

Кириченко Константин Юрьевич – Дальневосточный федеральный университет; 690990, Россия, Владивосток; кандидат биологических наук, научный сотрудник НОЦ «Нанотехнологии»; kirichenko.kiu@dvfu.ru

Kirichenko Konstantin Yuryevich – Far Eastern Federal University; 690990, Russia, Vladivostok; Candidate of Biological Sciences, Researcher of the Research and Education Center «Nanotechnologies»; kirichenko.kiu@dvfu.ru

Холодов Алексей Сергеевич – Дальневосточный федеральный университет; 690990, Россия, Владивосток; кандидат географических наук, главный специалист научно-организационного управления Инженерной школы; Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, 690022, Владивосток; научный сотрудник; alex.holodov@gmail.com

Kholodov Alexey Sergeevich – Far Eastern Federal University; 690990, Russia, Vladivostok; Candidate of Geographical Sciences; Senior Specialist of the School of Engineering; Far East Geological Institute FEB RAS, 690022, Vladivostok; Researcher; alex.holodov@gmail.com

Вахнюк Игорь Анатольевич – Дальневосточный федеральный университет (ДВФУ); 690000, Россия, Владивосток; аспирант Школы естественных наук ДВФУ; vahnuk86@mail.ru

Vakhniuk Igor Anatolievich – Far Eastern Federal University; 690000, Russia, Vladivostok; Postgraduate, School of Natural Sciences, FEFU; vahnuk86@mail.ru

Гусев Дмитрий Сергеевич – Дальневосточный федеральный университет; 690990, Россия, Владивосток; лаборант Инженерной школы; gusev.dse@dvfu.ru

Gusev Dmitry Sergeevich – Far Eastern Federal University; 690000, Russia, Vladivostok; Laboratory Assistant, School of Engineering; gusev.dse@dvfu.ru

Кириянов Алексей Валерьевич – Дальневосточный федеральный университет (ДВФУ); 690000, Россия, Владивосток; начальник научно-организационного управления Инженерной школы; kirianov.av@dvfu.ru

Kiryanov Alexey Valerievich – Far Eastern Federal University; Russia, 690000, Vladivostok; Head of the Scientific and Organizational Department, School of Engineering; kirianov.av@dvfu.ru

Дрозд Владимир Александрович – Дальневосточный федеральный университет (ДВФУ); 690000, Россия, Владивосток; инженер по радиационной безопасности Школы естественных наук ДВФУ; v_drozd@mail.ru

Drozd Vladimir Alexandrovich – Far Eastern Federal University; 690000, Russia, Vladivostok; Engineer of Radiation Safety, School of Natural Sciences, FEFU; v_drozd@mail.ru

Голохваст Кирилл Сергеевич – Тихоокеанский институт географии Дальневосточного отделения РАН; 690041, Россия, Владивосток; член-корреспондент РАО, профессор РАН, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории экологии и охраны животных, droopy@mail.ru

Golokhvast Kirill Sergeevich – Pacific Geographical Institute, Far-Eastern Branch RAS; 690041, Russia, Vladivostok; MSc, Doctor of Biological Sciences, Leading Researcher of the Ecology and Animals Protection Laboratory; droopy@mail.ru