УДК 620.9:535.4:504.75 DOI: 10.24411/1816-1863-2019-12018

ОЦЕНКА ФРАКЦИОННОГО СОСТАВА ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ КОТЕЛЬНЫХ ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА ПРИМОРСКОГО КРАЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИХ ВЛИЯНИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

О. И. Елкин, *Дальневосточный федеральный университет (ДВФУ), начальник подразделения, elkin8@yandex.ru, Владивосток, Россия,*
И. В. Гребенюк, *Дальневосточный федеральный университет (ДВФУ), главный проектный менеджер, grebenyuk.iv@dvfu.ru, Владивосток, Россия,*
Д. Р. Федотов, *Дальневосточный федеральный университет (ДВФУ), лаборант-исследователь, fedotov_dr@students.dvfu.ru, Владивосток, Россия,*
В. А. Дрозд, *Дальневосточный федеральный университет (ДВФУ), аспирант, v_drozd@mail.ru, Владивосток, Россия,*
А. В. Таскин, *кандидат химических наук, заведующий лабораторией, Дальневосточный федеральный, университет (ДВФУ), taskin@yandex.ru, Владивосток, Россия*

Актуальность и цели. Золошлаковые отходы котельных ЖКХ представляют собой экологически опасные техногенные образования, однако в силу малых объемов их генерации и накопления вопросы экологической безопасности функционирования предприятий практически не рассматриваются в работах, посвященных проблемам защиты окружающей среды. Вместе с тем угольные котельные располагаются, как правило, в черте городских поселений, не оборудованы специализированными площадками для безопасного хранения своих твердых отходов и имеют устаревшие системы очистки дымовых газов. В совокупности это создает непосредственную угрозу здоровью населения, особенно на территориях с длительным отопительным сезоном. Поэтому актуальной задачей является изучение золошлаковых отходов котельных жилищно-коммунального хозяйства. Цель работы — исследование фракционного состава золошлаковых отходов котельных Приморского края для оценки их влияния на окружающую среду.
Модели и методы. Объектами исследования послужили золошлаковые отходы коммунальных котельных № 3.3 и № 4.1 (г. Находка), а также котельной № 4 (г. Дальнегорск). Отбор проб из отвалов котельных был осуществлен в соответствии с ПНД Ф 12.4.2.1—99. Анализ фракционного состава отходов произведен с использованием лазерного анализатора размера частиц "Analysette 22 NanoTec Plus" (Fritch, Германия).
Результаты. Установлено, что исследованные техногенные отходы содержат до 60 % частиц гигиенически опасных классов крупности — PM_{50} (менее 50 мкм). Определена зависимость фракционного состава от способа сжигания твердого топлива. На основе сведений из литературных источников выделена основная форма негативного воздействия угольных котельных ЖКХ на здоровье населения прилегающих территорий. Наглядно показано, что данный вид воздействия захватывает значительную часть жилых районов исследуемых поселений. Приведены способы минимизации воздействия объектов коммунальной энергетики на окружающую среду, используемые в развитых странах.
Выводы. Для эффективного пылеподавления золошлаковых отходов коммунальной энергетики предлагается применение различных клеевых композиций на основе твердых отходов производства котельных. Это позволит получить на поверхности отвала золошлаковых отходов эффективную укрывную полимерную пленку, которая будет препятствовать разрушающему воздействию ветровой эрозии и пылению отходов.

Actuality and goals. Ash and slag waste of communal housing impose hazards of ecologically dangerous compounds, yet due to low volumes of generation and accumulation, the topics of ecological security are barely considered during the operation processes that are related to the problems of environmental safety. Meanwhile, the coal boilers that are located within settlement limits are not equipped with plat-

forms for the safe storage of their solid waste and have old-fashioned systems for chimney gas purification. Thus, it creates the direct threat for public health, especially in the areas with long heating season. Therefore, researching the ash and slag waste from boilers of the communal housing sector is a topical objective. The research goals are to investigate the fractional composition of ash and salt waste from Primorsky Krai boilers for the purposes of estimation of their environmental effects.
Models and methods. The ash and slag waste from boilers of the communal housing No. 3.3, No. 4.1 (Nakhodka) and No. 4 (Dalnegorsk) served as research objects. The samples were taken from the boiler landfills in accordance with PND F 12.4.2.1—99. The analysis of fractional composition of the ash and slag waste was conducted via laser analyzer for particles — Analysette 22 NanoTec Plus (Fritch, Germany).
Results. It was found that the researched industrial waste has up to 60 % of particles that are of hazardous size class — PM_{50} (less than 50 microns). The correlation between fractional composition and burning methods for solid waste was determined. The main form of negative influence of the communal utility boilers on the public health was determined in the nearby areas. It was vividly illustrated that this type of influence is present in the major part of residential areas of the researched settlements. The methods of minimizing the negative influence of the communal power sector on the environment that are applied in the developed countries are suggested.
Conclusions. It is suggested to use various glue-like composites that are based on solid communal waste for the purposes of effective dust management. This will create the polymer coverage film on the surface of landfills, which will prevent winding out and dusting of waste.

Ключевые слова: золошлаковые отходы, фракционный состав, коммунальная энергетика, ЖКХ, микроразмерные твердые взвешенные частицы, здоровье населения, окружающая среда, экология.

Keywords: ash and slag waste, fractional composition, communal power industry, utility sector, small-scale hard particles, public safety, environment, ecology.

Введение. В структуре потребления углей в России коммунальная энергетика занимает не более 4—5 %, что ориентировочно соответствует 12—15 млн тонн угля в год [1]. Вероятно, в связи с незначительным (в масштабах страны) количеством угля, сжигаемого на котельных ЖКХ, вопросы экологической безопасности этих объектов практически не рассматриваются в работах, посвященных проблемам защиты окружающей среды и здоровья человека. Вместе с тем котельные ЖКХ, в большинстве случаев, расположены непосредственно в муниципальных поселениях, не имеют современных топливных складов, используют местные низкокачественные угли, не оснащены эффективными системами очистки дымовых газов, не оборудованы площадками для безопасного хранения продуктов сгорания угля, что в комплексе позволяет отнести эти объекты к потенциальным загрязнителям окружающей среды.

В жилищно-коммунальном хозяйстве Приморского края действуют 582 котельные на угле и 175 котельных на мазуте, которые постепенно переводятся на уголь в соответствии с краевой программой по снижению использования дорогостоящего жидкого топлива. Более 90 % используемого угля добывается на местных угольных разрезах — Павловский, Возновский, Алексее-Никольский, Пореченский и др. [2—3]. В большинстве случаев это низкокалорийные, высокозольные (до 25 %) бурые угли [4], сжигание которых ведет к образованию повышенного количества золошлаковых отходов (ЗШО), складируемых в отвалы на отведенных для этих целей площадках.

Таким образом, в производственном цикле муниципальных котельных можно выделить три основных и наиболее заметных источника негативного воздействия на окружающую среду: 1) топливный склад (пыление в ветреную погоду и при разгрузке, транспортировке угля); 2) система очистки дымовых газов (выбросы не уловленных продуктов сгорания угля); 3) отвалы золошлаков (пыление в ветреную погоду) [5, 6].

Для примера на рис. 1, 2 показано расположение котельных в городах Находка и Дальнегорск и розы ветров для данных поселений.

Загрязнение атмосферы является одним из самых опасных факторов антропогенного воздействия производственной деятельности человека на окружающую среду. Например, согласно исследованиям Всемирной Организации Здравоохранения в 2012 г. от загрязнения воздуха во всем мире погибло более 7 млн чел.

Важность контроля чистоты атмосферного воздуха отмечается Европейской экономической комиссией ООН в «Кон-

венции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния» [7, 8].

По оценкам [9] наиболее опасными для здоровья человека являются взвешенные частицы (PM от англ. particulate matter), которые попадают в организм, минуя гортань [10—12]:

1. Частицы крупностью до 2,5 мкм ($PM_{2,5}$). В силу своих свойств данные частицы не оседают на земную поверхность в течение длительного времени, аккумулируются и переносятся воздушными массами на значительные расстояния.

2. Частицы крупностью от 2,5 до 10 мкм (PM_{10}) выпадают на землю вблизи источника загрязнения, ветровые потоки поднимают их вверх, чем обусловливается вторичное загрязнение воздуха.

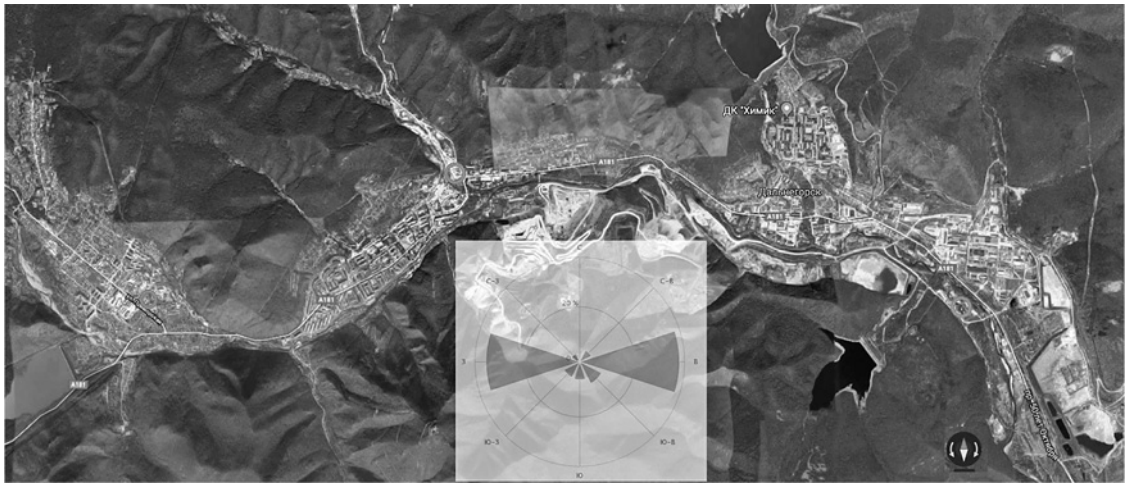


Рис. 1. Расположение котельных (обозначены кружками) и роза ветров в г. Дальнегорске



Рис. 2. Расположение основных котельных (обозначены кружками) и роза ветров в г. Находка

3. Частицы крупностью от 10 до 50 мкм обозначены как потенциально опасные.

Модели и методы. Для оценки воздействия золошлаковых отвалов на атмосферу городов Дальнегорск и Находка в привязке к розе ветров исследовались золошлаковые отвалы котельных № 3.3 и № 4.1 (Находка) и котельной № 4 (Дальнегорск). Анализ гранулометрического состава отходов осуществлялся с использованием лазерного анализатора размера частиц «Analysette 22 NanoTec Plus» (Fritch, Германия).

Для определения гранулометрического состава из отвалов котельных в соответствии с ПНД Ф 12.4.2.1—99 [13] были отобраны представительные пробы ЗШО. Из них подготовлены 2 усредненные пробы, из которых отправлены на анализ по 5 навесок. По каждой навеске определялся гранулометрический состав, содержание фракций и среднее процентное значение по содержанию каждой фракции в пробе.

Результаты и обсуждение. Результаты исследований приведены в табл. 1, 2. Диаграммы распределения фракций частиц ЗШО приведены на рис. 3, 4.

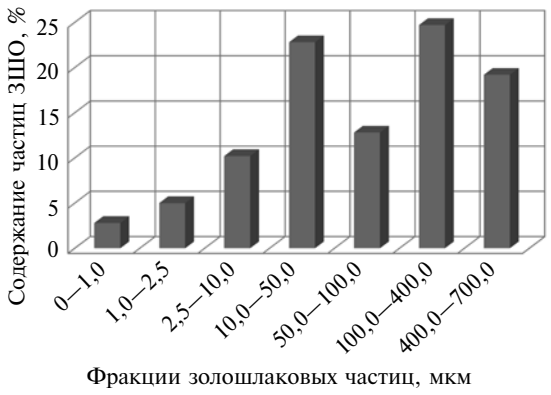


Рис. 3. Диаграмма распределения фракций частиц ЗШО котельных № 3.3 и № 4.1 г. Находка Приморского края

Анализируя полученные результаты, можно сделать следующие выводы:

1. Котельные № 3.3 и № 4.1 (г. Находка). Вид и марка используемого топлива — бурый уголь Павловского месторождения Приморского края в виде смесей ДР, БПК,

Таблица 1

Фракционный состав пробы ЗШО котельных № 3.3 и № 4.1 (г. Находка)

Фракции частиц, мкм	Содержание фракции частиц, %					
	1	2	3	4	5	ср. зн.
0,0—1,0	2,6	2,7	2,8	2,5	3,3	2,8
1,0—2,5	4,9	4,6	4,6	4,7	6,2	5,0
2,5—10,0	10,1	10,4	10,1	9,1	11,7	10,2
10,0—50,0	17,5	20,2	21,9	26,0	27,8	22,8
50,0—100,0	10,4	11,8	12,4	13,7	15,9	12,8
100,0—400,0	27,4	26,1	22,8	23,2	24,1	24,7
400,0—700,0	23,6	21,3	21,6	18,8	10,9	19,2

Таблица 2

Фракционный состав пробы ЗШО котельной № 4 (г. Дальнегорск)

Фракции частиц, мкм	Содержание фракции частиц, %					
	1	2	3	4	5	ср. зн.
0,0—1,0	3,3	3,2	3,6	3,8	4,1	3,6
1,0—2,5	5,6	5,6	6,3	6,5	6,8	6,2
2,5—10,0	13,7	12,4	13,1	11,7	11,8	12,5
10,0—50,0	36,1	39,1	38,8	39,6	41,7	39,1
50,0—100,0	19,4	21,3	21,2	20,8	21,6	20,8
100,0—400,0	20,6	17,5	14,7	13,3	12,5	15,8
400,0—700,0	1,3	0,9	1,7	2,6	0,7	1,4

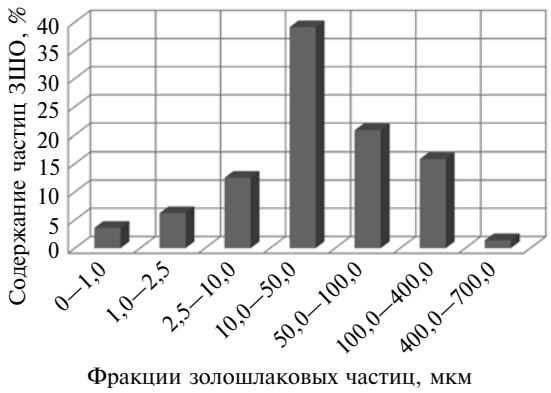


Рис. 4. Диаграмма распределения фракций частиц ЗШО котельной № 4 г. Дальнегорска Приморского края

ЗБОМ, БПКО. Способ сжигания — слоевое, на подвижных решетках. Результаты фракционного состава ЗШО по наиболее опасным для человека фракциям: $PM_{2,5}$ — 7,8 %, $PM_{10,0}$ — 10,2 %, $PM_{50,0}$ — 22,8 %. Сумма опасных фракций в анализируемой пробе — 40,8 %.

2. Котельная № 4 (г. Дальнегорск). Вид и марка используемого топлива — бурый уголь Павловского месторождения Приморского края марки 1 БПК. Способ сжигания — низкотемпературный кипящий слой. Результаты фракционного состава частиц ЗШО по наиболее опасным для человека фракциям: $PM_{2,5}$ — 9,8 %, $PM_{10,0}$ — 12,2 %, $PM_{50,0}$ — 39,1 %. Сумма опасных фракций в анализируемой пробе — 61,4 %.

Заключение. Вне зависимости от применяемого на котельных способа сжигания угля образуются опасные для здоровья человека фракции ЗШО. При этом необходимо отметить, что при сжигании топлива в кипящем слое количество опасных фракций золошлаковых частиц на 20 % больше, чем при сжигании на колосниковых решетках. В обоих случаях в ветреную погоду будет происходить загрязнение воздуха в местах расположения золошлаковых отвалов котельных. Для снижения негативного влияния на окружающую среду от работы котельных, в качестве первичного мероприятия, необходима организация хранения ЗШО, исключающая пыление отвалов.

Анализируя решения, представленные в научных публикациях, например [14—16], можно констатировать, что основными эффективными способами пылеподавления отвалов тепловой энергетики являются:

1. Гранулирование отходов путем их увлажнения водой или сточными водами в смесителях с последующей грануляцией в окомкователях. Этот способ позволяет получить зольный гранулят, обладающий высокой стойкостью к ветровой эрозии.

2. Нанесение на поверхность отвалов золошлаковых отходов полимерных пленок различного химического состава. Данное решение считается одним из наиболее экономичных способов предотвращения их пыления на больших площадях.

С точки зрения авторов, оптимальным является применение клеевых композиций, изготовленных на основе золошлаковых отходов по технологии, используемой при производстве жидкого стекла. В результате может быть получена укрывная корка из композиционного материала, имеющая высокие эксплуатационные свойства (высокая прочность, морозостойкость, абразивоустойчивость), без внесения дополнительных загрязняющих компонентов.

Работа выполнена в рамках реализации государственного задания министерства науки и высшего образования Российской Федерации в сфере научной деятельности (код проекта № 10.3706.2017/4.6).

Библиографический список

1. Кожуховский И. С., Алешинский Р. Е., Говсиевич Е. Р. Проблемы и перспективы угольной генерации в России // Уголь. — 2016. — № 2. — С. 4—15.
2. Аналитический доклад «Оценка перспектив и целесообразности перехода субъектов Российской Федерации, использующих нефтепродукты с целью теплоснабжения, на местные и возобновляемые виды топлива», 2015: http://ac.gov.ru/files/publication/a/6592.pdf (дата обращения 15.04.2019).
3. http://docs.cntd.ru/document/494221690 (дата обращения 15.04.2019).
4. Чугаева Н. А., Шишлова Т. М. Сравнительная оценка содержания металлов в составе взвешенных веществ атмосферного воздуха г. Уссурийска // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. — 2015. — № 3. — С. 94—98.

5. Русаков Н. В. Эколого-гигиенические проблемы опасности отходов производства и потребления // II Междунар. конгресс по управлению отходами. — Москва: Вэйстек, 2001. — С. 360—361.
6. Шайхутдинова А. А. Экологические проблемы хранения отходов теплоэлектростанций, работающих на твердом топливе / А. А. Шайхутдинова // Интеллект. Инновации. Инвестиции. — 2011. — № 2. — С. 252—255.
7. http:// www.euro.who.int/ru/health-topics/environment-and-health/air-quality/news/news/2014/03/almost-600-000-deaths-due-to-air-pollution-in-europe-new-who-global-report (дата обращения 29.03.2019).
8. Конвенция о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния: Организация объединенных наций. http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/transboundary.shtml (дата обращения 29.03.2019).
9. Ревич Б. А. Экологическая эпидемиология. — М.: Академия, 2004. — 384 с.
10. Голохваст К. С., Чайка В. В., Борисов С. Ю., Кодинцев В. В. Атмосферная взвесь небольшого города Белогорска (Амурская область) // Бюлл. физиологии и патологии дыхания. — 2016. — № 59. — С. 69—72.
11. Холодов А. С., Угай С. М., Дрозд В. А., Голохваст К. С. Исследование микроразмерного загрязнения атмосферы пгт. Пограничный (Приморский край) // Бюлл. физиологии и патологии дыхания. — 2016. — № 61. — С. 42—45.
12. Кодинцев В. В., Голохваст К. С. Атмосферная взвесь небольших городов Амурской области // Проблемы региональной экологии. — 2015. — № 3. — С. 148—151.
13. ПНД Ф 12.4.2.1—99 «Отходы минерального происхождения. Рекомендации по отбору и подготовке проб. Общие положения». http://docs.cntd.ru/document/898902274 (дата обращения 15.04.2019).
14. Андреева Н. Г. Проблемы утилизации золошлаковых отходов ТЭЦ и возможные пути их решения // Ползуновский вестник. — 2011. — № 4—2. — С. 164—166.
15. Боричев К. П., Дубков А. И. Охрана окружающей среды от пыления золоотвалов // Сборник науч. тр. АТЭП «Охрана окружающей среды на ТЭС и АЭС». — М.: «АтомТЕПЛОЭЛЕКТРОПРОЕКТ», 1985. — 283 с.
16. Жиленков В. Н. Новые эффективные средства пылеподавления на отвалах промышленных отходов // Экология промышленного производства. — 2002. — № 3. — С. 23—29.

ESTIMATION OF FRACTIONAL COMPOSITION OF THE ASH AND SLAG WASTE OF THE COMMUNAL HOUSING SECTOR OF PRIMORSKY KRAI TO DETERMINE THEIR INFLUENCE ON THE ENVIRONMENT

O. I. Elkin, *Far Eastern Federal University (FEFU), Head of Division, elkin8@yandex.ru, Vladivostok, Russia;*
I. V. Grebenyuk, *Far Eastern Federal University (FEFU), General project manager, grebenyuk.iv@dvfu.ru, Vladivostok, Russia;*
D. R. Fedotov, *Far Eastern Federal University (FEFU), Laboratory researcher, fedotov_dr@students.dvfu.ru, Vladivostok, Russia;*
V. A. Drozd, *Far Eastern Federal University (FEFU), Postgraduate, v_drozd@mail.ru, Vladivostok, Russia;*
A. V. Taskin, *Ph. D. (Chemistry), Far Eastern Federal University (FEFU), Head of Laboratory, taskin@yandex.ru, Vladivostok, Russia*

References

1. Kozhukhovskiy I. S., Aleshinskiy R. Ye., Govsiyevich Ye. R. Problemy i perspektivy ugolnoj generacii v Rossii [Problems and prospects of coal generation in Russia]. *Ugol'* [*Coal*]. 2016. No. 2. P. 4—15 [in Russian].
2. Analiticheskiy doklad “Otsenka perspektiv i tselesoobraznosti perekhoda sub'yektov Rossiyskoy Federatsii, ispol'zuyushchikh nefteprodukty s tsel'yu teplosnabzheniya, na mestnyye i vozobnovlyayemyye vidy topliva” [Analytical report “Assessment of the prospects and feasibility of the transition of the constituent entities of the Russian Federation using oil products for the purpose of heat supply to local and renewable types of fuel”], 2015. Available at: http://ac.gov.ru/files/publication/a/6592.pdf (accessed April 15, 2019). [in Russian]
3. E-source available at: http://docs.cntd.ru/document/494221690 (accessed April 15, 2019) [in Russian].
4. Chugayeva N. A., Shishlova T. M. Sravnitelnaya ocenka soderzhaniya metallov v sostave vzveshennyh veshestv atmosfernogo vozduha g. Ussurijska [Comparative assessment of metal content in the composi-

tion of suspended substances of atmospheric air of Ussuriysk]. *Vestnik Severo-Vostochnogo nauchnogo tsentra Dal'nevostochnogo otdeleniya Rossiyskoy akademii nauk* [*Bulletin of the North-Eastern Scientific Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences*]. 2015. No. 3. P. 94—98 [in Russian].
5. Rusakov N. V. Ekologo-gigiyenicheskiye problemy opasnosti otkhodov proizvodstva i potrebleniya: II Mezhdunar. kongress po upravleniyu otkhodami [Ecological and hygienic problems of the hazard of production and consumption waste: II International Congress on Waste Management]. Moscow. 2001. P. 360—361 [in Russian].
6. Shaykhutdinova A. A. Ekologicheskie problemy hraneniya othodov teploelektrostancij, rabotayushih na tverdom toplive [Environmental problems of waste storage of thermal power plants operating on solid fuel] *Intellekt. Innovatsii. Investitsii.* [*Intelligence. Innovation. Investments*]. 2011. No. 2. P. 252—255 [in Russian].
7. E-source available at: http:// www.euro.who.int/ru/health-topics/environment-and- health/air-quality/news/news/2014/03/almost-600-000-deaths-due-to-air-pollution-in-europe-new-who-global-report (accessed March 29, 2019).
8. Konventsiya o transgranichnom zagryaznenii vozdukha na bol'shiye rasstoyaniya: Organizatsiya ob'yedinennykh natsiy [Convention on Long-range Transboundary Air Pollution: United Nations]. E-source available at: http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/transboundary.shtml (accessed March 29, 2019).
9. Revich B. A. Ekologicheskaya epidemiologiya [Environmental epidemiology]. Moscow, Academy. 2004. 384 p. [in Russian].
10. Golokhvast K. S., Chayka V. V., Borisov S. YU., Kodintsev V. V. Atmosfernaya vzves nebolshogo goroda Belogorska (Amurskaya oblast) [Atmospheric suspension of the small town of Belogorsk (the Amur Region)] *Byulleten' fiziologii i patologii dykhaniya* [*Bulletin of physiology and pathology of respiration*]. 2016. No. 59. P. 69—72 [in Russian].
11. Kholodov A. S., Ugay S. M., Drozd V. A., Golokhvast K. S. Issledovanie mikrorazmernogo zagryazneniya atmosfery pgt. Pogranichnyj (Primorskij kraj) [Investigation of micro-dimensional air pollution of the urban settlement of Pogranichny (Primorsky Krai)] *Byulleten' fiziologii i patologii dykhaniya* [*Bulletin of physiology and pathology of respiration*]. 2016. No. 61. P. 42—45 [in Russian].
12. Kodintsev V. V., Golokhvast K. S. Atmosfernaya vzves nebolshih gorodov Amurskoj oblasti [Atmospheric suspension of the towns of the Amur Region]. *Problemy regional'noy ekologii* [*Regional Environmental Issues*]. 2015. No. 3. P. 148—151 [in Russian].
13. PND F 12.4.2.1—99 "Otkhody mineral'nogo proiskhozhdeniya. Rekomendatsii po otboru i podgotovke prob. Obshchiye polozheniya" [PND F 12.4.2.1—99 "Waste of mineral origin. Recommendations for sampling and sample preparation. General provisions]. E-source available at: http://docs.cntd.ru/document/898902274 (accessed April 15, 2019). [in Russian].
14. Andreyeva N. G. Problemy utilizacii zoloshlakovyh othodov TEC i vozmozhnye puti ih resheniya [Problems of utilization of ash and slag waste of CHP and possible solutions] *Polzunovskiy vestnik* [*Polzunovsky Bulletin*]. 2011. No. 4—2. P. 164—166 [in Russian].
15. Borichev K. P., Dubkov A. I. Okhrana okruzhayushchey sredy na TES i AES: tr. ATEP [Environmental protection at thermal power plants and nuclear power plants: the works of ATEP]. Moscow. 1985. 283 p. [in Russian].
16. Zhilenkov V. N. Novye effektivnye sredstva pylepodavleniya na otvalah promyshlennyh othodov [New effective means of dust suppression on industrial waste dumps]. *Ekologiya promyshlennogo proizvodstva* [*Ecology of industrial production*]. 2002. No. 3. P. 23—29 [in Russian].