

РАССЕИВАНИЕ МЕЛКОДИСПЕРСНОЙ ПЫЛИ КОНДИТЕРСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ЗА ПРЕДЕЛАМИ САНИТАРНО-ЗАЩИТНОЙ ЗОНЫ

С.Д. Пономарева, В.А. Юрченко, Е.Ф. Аксенова

Исследовано распространение в городской атмосфере выбросов мелкодисперсной органической пыли кондитерского производства. Определено, что за пределами санитарно-защитной зоны концентрации пыли какао и пыли недифференцированной по составу превышают нормативно допустимый уровень ЕС. Для интенсификации очистки выбросов предложено укрупнение частиц пыли.

Ключевые слова: кондитерское предприятие, выбросы, мелкодисперсная органическая пыль, рассеивание, концентрация, экологические последствия.

РОЗСПИВАННЯ ДРІБНОДИСПЕРСНОГО ПИЛУ КОНДИТЕРСЬКОГО ПІДПРИЄМСТВА ЗА МЕЖАМИ САНИТАРНО-ЗАХИСНОЇ ЗОНИ

С.Д. Пономарьова, В.О. Юрченко, О.Ф. Аксьонова

Досліджено поширення в міській атмосфері викидів дрібнодисперсного органічного пилу кондитерського виробництва. Визначено, що за межами санітарно-захисної зони концентрації пилу какао і пилу недиференційованого за складом перевищують нормативно допустимий рівень ЄС. Для інтенсифікації очищення викидів запропоновано укрупнення часток пилу.

Ключові слова: кондитерське виробництво, викиди, дрібнодисперсний органічний пил, розсіювання, концентрація, екологічні наслідки.

DISPERSION OF FINE DUST FROM CONFECTIONERY FACTORY OUTSIDE ITS SANITARY PROTECTION ZONE

S. Ponomarova, V. Iurchenko, O. Aksonova

The spread of fine organic dust (10 microns, 2.5 microns and smaller) from confectionery factory to the urban atmosphere has been investigated, as it is harmful to health and the environment.

The determination of contamination territory level with environmentally hazardous fine organic dust near a confectionery factory is an important task in determining its environmental safety for urban areas.

The purpose of the work is complex analysis of atmospheric surface layer pollution by fine organic dust from confectionery factory in the territory bordering the sanitary protection zone (SPZ).

Determination of the contamination concentration was carried out using three independent methods: particles concentration direct measurement in the atmospheric surface layer, indirect measurement (study of snow cover samples), atmospheric dispersion modeling (mathematical simulation of how air pollutants disperse in the ambient atmosphere).

Particle size distribution analysis of dust (flour, starch, sugar and cocoa), from the confectionery factory, showed a predominance of fine particle with a size of $PM_{2.5}$ and PM_{10}

Studying undifferentiated dust (PM_{10}) through different methods showed that the concentration values are comparable. Concentration values obtained by particles concentration direct measurement in the atmospheric surface layer are comparable with the values obtained indirect measurement (on the content of dust in the snow cover) and with the values obtained by atmospheric dispersion modeling.

The results of direct and indirect measurements of PM_{10} and $PM_{2.5}$ concentrations in the atmospheric surface layer on the border sanitary protection zone of the confectionery factory, as well as atmospheric dispersion modeling have revealed excess of maximum permissible concentrations of these particles according to the norms used in the EU.

To solve the ecological problem of urban atmosphere pollution with environmentally hazardous fine organic dust from the confectionery factory it is necessary to improve the process of cleaning dust emissions

The method of dust coarsening is the most promising solution providers in the field of atmospheric air protection from fine dust.

Keywords: *confectionery factory, emissions, fine organic dust, dispersion, concentration, environmental impacts.*

Постановка проблемы в общем виде. Кондитерские предприятия являются интенсивным источником выброса взвешенных твердых частиц органического происхождения, образующихся в технологических процессах, в которых используют сыпучие органические вещества: муку, крахмал, сахар, какао.

Опасными для окружающей среды и человека являются взвешенные твердые частицы (пыль) с размером до 10 и особенно до 2,5 мкм ($ТЧ_{10}$ и $ТЧ_{2.5}$) [1], которые отрицательно влияют на здоровье человека даже в очень низких концентрациях [2]. За счет малого размера такие частицы способны попадать не только в верхние дыхательные пути, но и в легкие, что приводит к тяжелым патологиям. Органическая мелкодисперсная пыль к тому же способна вызывать аллергические реакции [3]. Пыль органического происхождения – источник косвенного выброса CO_2 , а следовательно, потенциальный парниковый газ. Частицы $ТЧ_{10}$ и $ТЧ_{2.5}$ способны относиться на очень большие расстояния ветром, ухудшать видимость, повреждать

растения, попадать непосредственно в водоемы или на землю [4–6]. Уровень экологической опасности кондитерских предприятий усиливается особенностью их размещения: в городах, как правило, близко к жилой застройке.

Анализ последних исследований и публикаций. В Украине, в отличие от зарубежных стран (табл. 1), нормирование для ТЧ₁₀ и ТЧ_{2,5} находится только на стадии разработки. Благодаря имплементации Директивы 2008/50 / ЕС Европейского Парламента и Совета о качестве атмосферного воздуха и чистый воздух для Европы будут разработаны нормативно-правовые акты по установлению нормативов концентрации взвешенных веществ (ТЧ_{2,5} и ТЧ₁₀) в атмосферном воздухе и по обеспечению их мониторинга в атмосферном воздухе. Объективно оценить содержание ТЧ₁₀ и ТЧ_{2,5} в атмосферном воздухе на границе санитарно-защитной зоны (СЗЗ) и за ее пределами возможно только с привлечением комплекса исследовательских мероприятий.

Таблица 1

Предельные концентрации ТЧ₁₀ и ТЧ_{2,5} в атмосферном воздухе по рекомендациям [2, 7–10]

Наименование страны или организации	Концентрация, мкг/м ³			
	ТЧ ₁₀		ТЧ _{2,5}	
	С _{сс}	С _{сг}	С _{сс}	С _{сг}
Европейский союз [2]	35–25	28–20	–	17–12
ВОЗ [7]	50	20	25	10
США [8]	150	–	35	12
Австралия [9]	50	–	25	8
Япония [10]	100	–	35	15

Примечание. С_{сс} и С_{сг} соответственно среднесуточная и среднегодовая предельные концентрации.

Цель статьи – комплексный анализ загрязнения приземной атмосферы мелкодисперсной пылью кондитерского производства на территории, прилегающей к границе СЗЗ.

Для изучения состава атмосферного воздуха проведено обследование загрязнения атмосферы под факелом выбросов вредных веществ в летний и зимний периоды. Анализ загрязнения приземной атмосферы производили на расстоянии 75, 98, 150 м (СЗЗ 50 м) от источника выброса. Определение концентрации загрязнений выполняли с помощью трех независимых методов:

– прямого измерения концентрации частиц $ТЧ_{10}$ и $ТЧ_{2,5}$ с помощью прибора WP 6910, оснащенного камерой лазерного обнаружения частиц с размером $ТЧ_{2,5}$, $ТЧ_{10}$. Измерения (всего 150) концентрации $ТЧ_{10}$ и $ТЧ_{2,5}$, недифференцированных по составу, проводили в летний период на высоте 1,5 м от поверхности земли в 12 точках на границе СЗЗ;

– непрямого измерения концентрации частиц какао и частиц недифференцированных по составу $ТЧ_{10}$ и $ТЧ_{2,5}$ в зимний период с помощью исследования проб снега при микроскопировании и подсчете частиц с последующей обработкой результатов. Отбор проб выполняли в 3 точках, две из которых совпадают с точками отбора проб в летний период, а одна расположена по преобладающему в данный период направлению факела выбросов. Промикроскопировано по 1000 полей зрения в каждой пробе снега;

– математического моделирования рассеивания частиц какао $ТЧ_{10}$ и $ТЧ_{2,5}$ при использовании уравнения Г.И. Марчука, в котором учитывали перенос частиц пыли какао в атмосфере под действием ветра, атмосферной турбулентной диффузии и силы тяжести (гравитационное оседание частиц).

Для определения дисперсного состава пыли, образующейся на кондитерском предприятии, частицы измеряли с помощью окулярмикрометра. Расчеты и статистическую обработку данных проводили в программе Microsoft Excel. Процентное содержание $ТЧ_{10}$ и $ТЧ_{2,5}$ определяли на основании по фракционного состава пыли. Согласно [11] проанализировано по 1200 частиц каждого образца пыли (какао, крахмал, сахар, мука).

Качественное определение специфических загрязняющих веществ, выбрасываемых кондитерским предприятием, в снегу проводили для какао, сахара и крахмала. Крахмал определяли с помощью йодной пробы, какао – визуальным методом микроскопирования, сахар – с помощью реакции с α -нафтолом.

Изложение основного материала исследования. В данной работе исследовали пыль какао, отобранную из вытяжного воздуховода какао станции, пыль крахмала, отобранную из вытяжного воздуховода зефирного участка, пыль сахара из вытяжного воздуховода мельницы для сахара, пыль муки, отобранную из вытяжного воздуховода над столами приготовления заготовок для тортов.

Анализ дисперсного состава выбросов пыли кондитерского предприятия показал, что в выбросах преобладают частицы с размером $ТЧ_{2,5}$ и $ТЧ_{10}$ (табл. 2), что свидетельствует о том, что пыль мелкодисперсная.

Таблица 2

Дисперсный состав пыли кондитерского предприятия

Вид пыли	Участок отбора	Содержание частиц каждой фракции, %		
		меньше 2,5 мкм	от 2,5 мкм до 10 мкм	более 10 мкм
Какао	До циклона	63,5 ± 12,9	32,9 ± 11,5	3,6 ± 2,4
Крахмал	До циклона	7,5 ± 1,4	68,7 ± 2,7	23,8 ± 2,8
Сахар	Воздуховод	38,8 ± 8,8	39,6 ± 4,7	21,6 ± 6,3
Мука	Воздуховод	9,6 ± 1,8	40,6 ± 3,3	49,7 ± 2,4

Результаты исследования дисперсного состава образцов пыли какао показывают, что в ней преобладают $TЧ_{2,5}$ – 63,5%, содержание $TЧ_{10}$ – 96,4%, значительное количество такой пыли циклоном не улавливается и попадает в атмосферный воздух. В составе пыли крахмала преобладают $TЧ_{10}$ – 76,2%. Пыль сахара, которая выбрасывается в атмосферу без очистки, содержит 78,4% частиц $TЧ_{10}$. Пыль муки на 50% состоит из частиц $TЧ_{10}$.

Результаты прямых замеров концентраций $TЧ_{10}$ и $TЧ_{2,5}$ недифференцированных по составу в приземной атмосфере на границе СЗЗ кондитерского предприятия, представлены на рис. 1, где КТ1–КТ12 – точки отбора проб запыленного воздуха, $C_{с.с.}$ – среднесуточная концентрация частиц пыли. Во время замеров преобладающее направление ветра – северо-восточное.

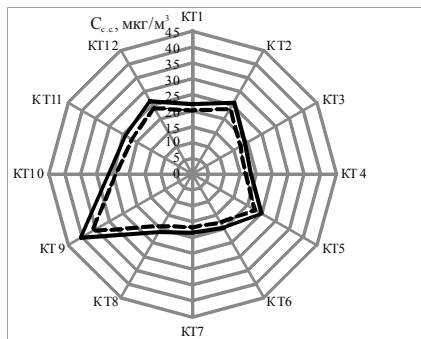


Рис. 1. Среднесуточная концентрация мелкодисперсных частиц пыли на границе СЗЗ кондитерского предприятия (---- $TЧ_{2,5}$, — $TЧ_{10}$)

Наибольшее среднесуточное загрязнение выявлено в точке КТ9, которое составило для $ТЧ_{10}$ $40,3 \text{ мкг/м}^3$, для $ТЧ_{2,5}$ $36,3 \text{ мкг/м}^3$, что превышает предельно допустимые концентрации в приземной атмосфере, используемые в ЕС ($35\text{--}25 \text{ мкг/м}^3$). Также были выявлены пиковые значения концентраций $ТЧ_{10}$ и $ТЧ_{2,5}$ в точках КТ2, 5, 9, 12 (свободных от жилой застройки), что подтверждает позитивное влияние застройки на процесс рассеивания. Доля частиц $ТЧ_{2,5}$ в точке КТ9 составила 90%, что выявляет повышенную экологическую опасность данной пыли для человека и окружающей среды. С другой стороны, подавляющее доминирование $ТЧ_{2,5}$ в пыли, поступающей за пределы СЗЗ, свидетельствует о том, что пыль размером $\geq 2,5 \text{ мкм}$ (представляющая основную массу частиц, образующихся на предприятии – табл. 1) эффективно удаляется пылеочистительным оборудованием. Поэтому для интенсификации удаления частиц $\leq 2,5 \text{ мкм}$ перспективно использовать методы укрупнения пыли.

Подфакельное измерение концентрации мелкодисперсной пыли (в зоне преобладающего направления рассеивания) в зимний сезон выполняли непрямым методом – с помощью отбора проб снега на участке, отмеченном в летний период как максимально загрязненный (направление от источника выброса к точке КТ9). При этом в подфакельном участке исследовали снег на расстоянии 98 м от источника выброса (точка КТ9) и на расстоянии 100 м от точки КТ9 в направлении факела выброса (точка КТ13), а также исследовали снег на контрольном участке (точка КТ1) в противоположном направлении факела выброса.

Микроскопирование показало, что частицы какао, присутствующие в талой воде, имели средний размер частиц 7 мкм, это говорит о том, что частицы со средним размером менее 7 мкм рассеиваются на более дальние расстояния от источника выброса. Средний размер частиц пыли недифференцированной по составу составил 8 мкм.

Данные качественной идентификации мелкодисперсной пыли какао, крахмала и сахарозы в снегу представлены в табл. 3.

Как видно, в точке КТ13 на максимальном расстоянии от источника выброса частицы крахмала и сахара не обнаружены. Максимальное присутствие частиц какао отмечено в точке КТ9, ближайшей к источнику выброса по направлению факела.

Таблица 3

Качественное определение загрязняющих веществ в снегу

Точка отбора проб	Присутствие частиц пыли в снегу		
	Какао	Крахмал	Сахариды
КТ9	+++	+	+
КТ13	+	–	–
КТ1	++	++	+

Расчет средней концентрации загрязняющего вещества (мелкодисперсных частиц какао или недифференцированных по составу частиц пыли) в атмосферном воздухе (C_i) выполняли по формуле [12]:

$$C_i = \frac{C_{звс} \cdot \frac{V_g}{V_c} \cdot 1000 \cdot h}{v \cdot n}, \quad (1)$$

где $C_{звс}$ – концентрация вещества в снегу, мкг/кг;

V_g – объем талой воды, дм³;

V_c – объем снега, дм³;

1000 – плотность воды, кг/м³;

h – высота снежного покрова, м;

v – скорость осаждения твердых частиц (для какао пыли данного предприятия расчетная скорость оседания 19,872 м/сут., для частиц пыли принимали скорость оседания 864 м/сут.);

n – количество дней снегостояния (14 сут.).

Результаты расчета средней концентрации пыли какао и пыли, недифференцированной по составу, в пробах снега представлены в табл. 4. Как видно, в точке КТ9 наблюдается превышение значения нормативов ЕС (35–25 мкг/м³) по концентрации ТЧ₁₀ как для пыли недифференцированной по составу, так и для пыли какао.

Таблица 4

**Расчет концентрации пыли в приземном слое
(атмосферного) воздуха**

Точка	Высота снега, м	$C_{звс}$, мкг/кг	$C_{какао}$, мкг/м ³	$C_{пыль}$, мкг/м ³
КТ9	0,11	397	48,8	54,4
КТ13	0,1	71	4,2	16,3
КТ1	0,115	165	15,6	19,1

В точках КТ13, на расстоянии 150 м от источника, выброса превышения не обнаружено, так как точка отбора проб находилась за зданиями. В точке КТ1 превышения не обнаружено, так как преобладающее направление ветра в период снегостояния было противоположным.

Сравнивая значения концентрации пыли недифференцированной по составу в точке КТ9, полученные прямым замером в летнее время (среднесуточная $\Gamma\text{Ч}_{10} - 40,3 \text{ мкг/м}^3$, максимальная $\Gamma\text{Ч}_{10} - 49 \text{ мкг/м}^3$) и непрямым методом по наличию пыли в снежном покрове ($\Gamma\text{Ч}_{10} - 54,4 \text{ мкг/м}^3$) можно отметить, что они очень близки. Аналогично в точке КТ1, значения, полученные прямым замером в летнее время (среднесуточная $\Gamma\text{Ч}_{10} - 22 \text{ мкг/м}^3$) и непрямым методом по наличию пыли в снежном покрове ($\Gamma\text{Ч}_{10} - 19,1 \text{ мкг/м}^3$), также очень близки.

Для расчета концентрации пыли как-о путем математического моделирования использовали следующее уравнение [12]:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial vC}{\partial y} + \frac{\partial (w - w_s)C}{\partial z} + kC = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) + \sum q_i \delta(x - x_i) \delta(y - y_i) \delta(z - z_i) \quad (2)$$

где C – концентрация пыли в атмосфере;

u, v, w – компоненты вектора скорости движения воздуха;

w_s – скорость гравитационного оседания пыли;

μ_x, μ_y, μ_z – коэффициенты атмосферной турбулентной диффузии;

k – коэффициент, учитывающий вымывание пыли осадками [12];

x_i, y_i, z_i – декартовы координаты положения источника эмиссии;

q_i – интенсивность эмиссии загрязнителя, зависящая от времени;

$\delta(x-x_i)\delta(y-y_i)\delta(z-z_i)$ – обозначение дельта-функции Дирака.

Граничные условия: на входе $C_r = 0$, на выходе ставится «мягко» граничное условие, на верхней границе $H = \text{const}$, граничное условие имеет вид $C = 0$, на нижней плоскости (поверхности земли) $\partial C / \partial n = 0$ (n – единичный вектор внешней нормали к поверхности).

Начальное условие для решения нестационарного уравнения (2): концентрация пыли в расчетной области $C = 0$ при $t = 0$ (отсутствие загрязнения в начальный момент времени в расчетной области).

Решение уравнения (2) выполнялось численно, с применением неявной разностной схемы расщепления [13]. Условия для расчета: на территории предприятия расположено пять труб источников выброса

пыли какао (шкаф для обжаривания, барабан отсыпки, какао-станция, сушилка, мельница). Мощность выброса, в зависимости от нагрузки на оборудование, от 0,392 г/с до 2,92 г/с. Средняя высота труб 8 м.

В табл. 5 представлены результаты расчета распределения концентрации пыли какао вдоль шлейфа по данным математического моделирования. Сравнивая значения концентрации пыли какао в точке КТ9, полученные непрямым методом по содержанию пыли в снежном покрове ($ГЧ_{10} - 48,8 \text{ мкг/м}^3$) и математическим моделированием ($ГЧ_{10}$ от 13,5 до $100,3 \text{ мкг/м}^3$), можно отметить, что значения, полученные непрямым методом, находятся в диапазоне значений, полученных с помощью математической модели.

Таблица 5

Концентрация пыли какао в приземном слое атмосферного воздуха по данным математического моделирования

Расстояние от источника, м	Концентрация пыли какао, мкг/м^3	
	min	max
40	18,5	137
60	16,0	119
80	14,5	108
100	13,4	99,6
120	12,5	93,4
150	11,6	86,3

Аналогично в точке КТ1 (рис. 1, табл. 4) значения, полученные непрямым методом при анализе снежного покрова ($ГЧ_{10} - 15,6 \text{ мкг/м}^3$), сопоставимы. Для точки КТ13 значение, полученное непрямым методом ($ГЧ_{10} - 4,2 \text{ мкг/м}^3$), меньше диапазона значений, полученных математическим моделированием ($ГЧ_{10} -$ от 11,6 до $86,3 \text{ мкг/м}^3$), что, вероятно, обусловлено экранированием рассеивания частиц зданием, которое не учитывала математическая модель.

Выводы. 1. Значения концентраций пыли $ГЧ_{10}$ недифференцированной по составу, полученные прямым измерением в летний период, сопоставимы со значениями, полученными непрямым методом по содержанию пыли в снежном покрове.

2. Значения концентраций пыли какао $ГЧ_{10}$, полученные непрямым методом по содержанию пыли в снежном покрове, сопоставимы со значениями, полученными с помощью математического моделирования рассеивания пыли какао.

3. В подфакельном пространстве за пределами СЗЗ концентрации мелкодисперсной пыли какао и пыли недифференцированной по составу превышают нормативно допустимый уровень ЕС.

4. Для доведения концентрации мелкодисперсной пыли в атмосфере на прилегающих к кондитерскому предприятию территориях до нормативно допустимого уровня необходима интенсификация очистки выбросов. Одним из наиболее перспективных направлений интенсификации является укрупнение частиц.

Список источников информации / References

1. Викиди забруднюючих речовин у атмосферне повітря в Україні за 1990–2015 рр. [Електронний ресурс]. – Київ : Держстат, 2017. – Режим доступу : http://www.ukstat.gov.ua/operativ/menu/menu_u/ns.htm “Emission of pollutants into atmospheric air in Ukraine for 1990-2015”, available at: www.ukstat.gov.ua/operativ/menu/menu_u/ns.htm

2. “Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe” (2017), available at: http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32008L0050#tr1L_2008152EN.01001401-E0001

3. Маленький В. П. Професійні хвороби / В. П. Маленький. – К. : Нова Книга, 2001. – 336 с.

Malenkyi, V.P. (2001), *Occupational diseases [Profesii ni khvoroby]*, Nova Knyha, Kyiv, 336 p.

4. *Resource Concerns: Particulate Matter* (2012), 1 p.

5. Verma, V., Rico-Martinez, R., Kotra, N., Remolds, C., Liu, J., Snell, T., Weber, R. (2013), *Estimating the toxicity of ambient fine aerosols using freshwater rotifer Brachionus calyciflorus (Rotifera: Monogononta)*, Environmental Pollution, Vol. 182, pp. 379-384.

6. Hartono, D., Lioe, B., Zhang, Y., Li, B., Yu, J. (2017), “Impacts of particulate matter (PM_{2.5}) on the behavior of freshwater snail *Parafossarulus striatulus*”, *Scientific Reports*, No. 644, available at: <https://www.nature.com/articles/s41598-017-00449-5>

7. *Ambient air pollution: a global assessment of exposure and burden of disease* / WHO Document Production Services : Geneva (2016), 121 p.

8. *EPA-452/R-12-005 Regulatory Impact Analysis for the Final Revisions to the National Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter* (2012), 474 p.

9. *National standards for criteria air pollutants 1 in Australia* (2005), available at: <http://www.environment.gov.au/about-us/accountability-reporting/expenditure>.

10. *Outline of Report on PM Particle Substance (PM 2.5) Review Board* (2011), 4 p.

11. Коузов П. А. Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов / П. А. Коузов. – Л. : Химия, 1987. – 264 с.

Kouzov, P.A. (1987), *Osnovy analiza dyspersnoho sostava promyshlennykh pylей y yzmelchennykh materialov* [Fundamentals of analysis of the disperse composition of industrial dusts and crushed materials], Khyn'nyia, Leningrad, 264 p.

12. Бруязкий Е. В. Теория атмосферной диффузии радиоактивных выбросов / Е. В. Бруязкий. – К. : Институт гидромеханики НАН Украины, 2000. – 443 с.

Bruyatsky, E. (2000), *Theory of atmospheric diffusion of radioactive emissions* [Teoriya atmosfernoi dyffuziyu radyoaktyvnykh vybrosov], Institute of Hydromechanics of NAS of Ukraine, Kyiv, 443 p.

13. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде / М. З. Згуровский, В. В. Скопецкий, В. К. Хрущ, Н. Н. Беляев. – К. : Наук. думка, 1997. – 368 с.

Zghurovskiy, M.Z., Skopetskiy, V.V., Khushch, V.K., Beliaev, N.N. (1997), *Numerical modeling of the spread of contamination in the environment* [Chylennoe modelyrovanye rasprostraneniya zahriazneniia v okruzhaiushchei srade], Nauk. Dumka, Kyiv, 368 p.

Пономарьова Світлана Дмитрівна, асп., Український науково-дослідний інститут екологічних проблем. Адреса: вул. Бакуліна, 6, м. Харків, Україна, 61002. E-mail: ponomarovasvitlana@gmail.com

Пономарева Светлана Дмитриевна, асп., Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем. Адрес: ул. Бакулина, 6, г. Харьков, Украина, 61002. E-mail: ponomarovasvitlana@gmail.com

Ponomarova Svitlana, PhD. student, Ukrainian Research Institute of Environmental Problems. Address: Bakulina str., 6, Kharkiv, Ukraine, 61002. E-mail: ponomarovasvitlana@gmail.com

Юрченко Валентина Олександрівна, д-р техн. наук, проф., завідувач кафедри безпеки життєдіяльності та інженерної екології, Харківський національний університет будівництва та архітектури. Адреса: вул. Сумська, 40, м. Харків, Україна, 61002. Тел.: (057)700-30-08; e-mail: bjieknuca@gmail.com

Юрченко Валентина Александровна, д-р техн. наук, проф., заведующая кафедрой безопасности жизнедеятельности и инженерной экологии, Харьковский национальный университет строительства и архитектуры. Адрес: ул. Сумская, 40, г. Харьков, Украина, 61002. Тел.: (057)700-30-08; e-mail: bjieknuca@gmail.com

Iurchenko Valentyna, DSc (Engineering), Prof, Head of the Department of Life Safety and Environmental Engineering, Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture. Address: Sumska str., 40, Kharkiv, Ukraine, 61002. Tel.: (057)700-30-08; e-mail: bjieknuca@gmail.com

Аксьонова Олена Федорівна, канд. техн. наук, доц., кафедра хімії, мікробіології та гігієни харчування, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. Тел.: (057)349-45-66; e-mail: eaksonova@gmail.com

Аксенова Елена Федоровна, канд. техн. наук, доц., кафедра химии, микробиологии и гигиены питания, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адрес: ул. Ключовская, 333, г. Харьков, Украина, 61051. Тел.: (057)349-45-66; e-mail: eaksonova@gmail.com

Aksonova Olena, Candidate of Sciences (comparable to the academic degree of Doctor of Philosophy, PhD.), Associate Professor, Department of Chemistry, Microbiology and Food Hygiene, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivska str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051. Tel.: (057)349-45-66; e-mail: eaksonova@gmail.com

DOI: 10.5281/zenodo.1307087