

УДК 615.9:613.1:614.7

И.Д. Копылов<sup>1</sup>, Р.Ф. Березина<sup>1</sup>, О.А. Рапопорт<sup>1</sup>, Г.Н. Рудой<sup>1</sup>, Д.В. Кузьмин<sup>2</sup>**ВЛИЯНИЕ ВЫБРОСОВ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРУ НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВЫ**<sup>1</sup>ООО «УГМК-Холдинг», пер. Успенский, д. 1, Верхняя Пышма, Свердловская обл., Россия, 624091<sup>2</sup>ФБУН ЕМНЦ ПОЗРПП Роспотребнадзора, ул. Попова, д. 30, г. Екатеринбург, Россия, 620014

В статье рассмотрен вопрос о степени загрязнения почвы, которое может иметь место от выбросов в атмосферу промышленного предприятия.

**Ключевые слова:** промышленные выбросы, среднегодовой поток пылевых частиц, подстилающая поверхность, загрязнение почвы.

I.D. Kopylov<sup>1</sup>, R.F. Berezina<sup>1</sup>, O.A. Rapoport<sup>1</sup>, G.N. Rudoy<sup>1</sup>, D.V. Kuz'min<sup>2</sup>. **Soil pollution influenced by chemical hazards releases into atmosphere**

<sup>1</sup>UMMC Holding Company LLC, 1, Lain Uspenskiy, Verkhnyaya Pyshma, Sverdlovskaya obl., Russia, 624091<sup>2</sup>FBRI Ekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection of Industrial Workers, 30, Popov Str., Ekaterinburg, Russia, 620014

The article covers a problem of soil pollution degree, that can be caused by industrial releases into atmosphere.

**Key words:** industrial releases, average annual flow of dust particles, underlying surface, soil pollution.

В Промышленном районе г. Владикавказа в настоящее время содержание ряда вредных веществ в почве превышают санитарные нормы (по кадмию, меди, свинцу, цинку, мышьяку).

С учетом расположения в Промышленном округе г. Владикавказа ряда предприятий цветной металлургии, дорожно-строительной, машиностроительной, железнодорожной инфраструктуры и др. предприятий народного хозяйства возникает вопрос о разработке методических подходов к оценке влияния этих предприятий на загрязнение почвы.

Данная работа предлагает методы решения данной проблемы на примере предприятия ОАО «Электроцинк» с учетом результатов исследований фактических загрязнений почвы.

Ситуационный план района размещения Промышленного округа г. Владикавказа и ОАО «Электроцинк» с указанием точек отбора проб почвы (13 точек) представлены на рис., сведения по уровню загрязнения почвы в данных точках, полученные на основании анализов, выполненных аккредитованной испытательной лабораторией ООО «Центра экспертиз и изысканий» (г. Санкт-Петербург) в 2014 г., представлены в табл. 1. Из табл. 1 видно, что в ряде точек имеет место превышение норм ПДК (ОДК) вредных веществ в почве.

Из ситуационного плана г. Владикавказа следует, что точки №№ 3,5,6 находятся в промышленной зоне города, точки №№ 1,2,4,7,8,9,10,11,12,13 — на жилой территории.

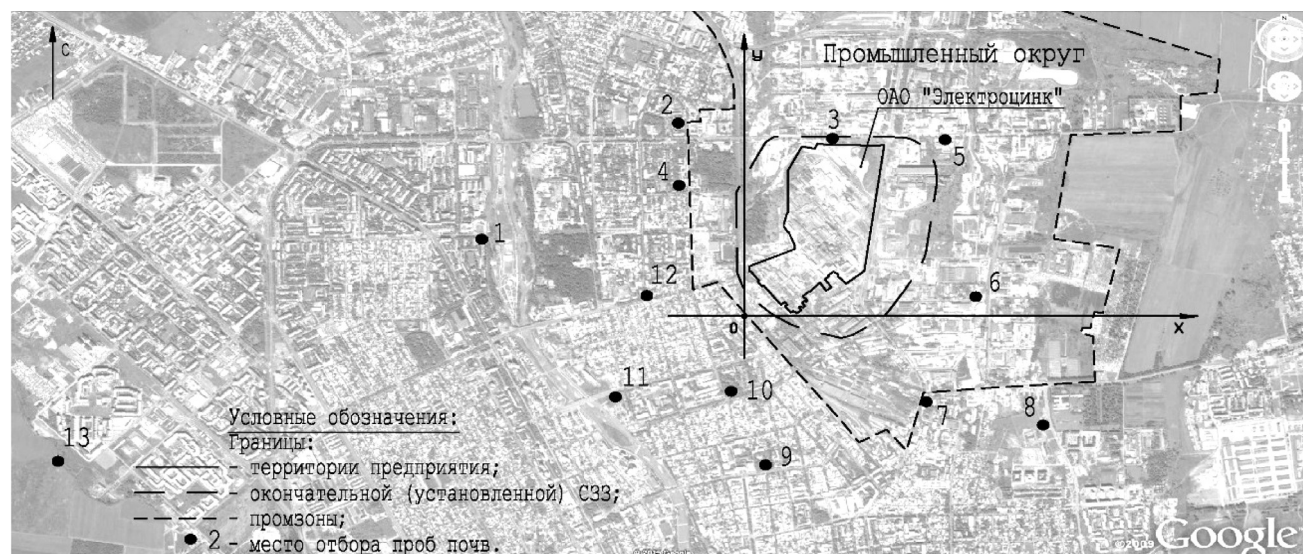


Рис. Ситуационный план (съемка) г. Владикавказа с указанием точек отбора проб почвы

Таблица 1

## Результаты исследования загрязнения почвы в г. Владикавказе

Вещество	ПДК (ОДК), [3]	Номер пробы (точки)												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Кадмий	2,0	3,09	6,25	181,67	58,93	81,64	60,38	28,02	2,20	32,3	40,5	2,15	26,25	4,65
Медь	132,0	42,5	47,6	719,2	199,9	617,6	244,4	136,1	35,4	172,0	156,1	28,3	98,2	38,0
Свинец	130,0	105,4	191,0	10346,5	2083,8	175,6	1937,8	1280,8	75,9	1856,9	2121,6	67,5	908,0	159,7
Цинк	220,0	155,6	195,1	2985,5	1967,6	1602,3	2122,2	214,8	135,8	1668,0	1692,1	91,9	176,5	467,0
Мышьяк	10,0	17,7	18,0	110,2	30,0	21,8	55,7	38,6	21,9	48,7	50,3	18,3	28,7	14,8

Примечания: глубина отбора 0,0–0,2 м; тип почвы — суглинок; единица измерения — мг/кг.

В работе представлена модель расчета выпадения пылевых частиц, выбрасываемыми источниками загрязнения атмосферного воздуха, которая позволяет количественно оценить выпадение и накопление пылевых выбросов на подстилающую поверхность при известных параметрах выбросов из источника, фракционного состава частиц пыли, климатических характеристик и метеопараметров в данной местности [1].

Полный среднегодовой поток пылевых частиц на подстилающую поверхность (Р) представляет собой сумму среднегодовых мокрого потока (вымывание — Р<sub>м</sub>) и сухого потока (осаждение — Р<sub>с</sub>):

$$P = P_m + P_c, \text{ г}/(\text{м}^2 \times \text{год}) \quad (1)$$

Величина среднегодового мокрого потока согласно [1] рассчитывается по формуле:

$$P_m = (1+b)M / (2\pi r L_0) \times [a L_\lambda t_{ва} \sum_{i=1}^k m_i u_i \exp(-a u_i r / u) + L_3 t_{вз} \sum_{i=1}^k m_i u_i \times \exp(-u_i r / u)] \quad (2)$$

$b$  — относительный вклад смешанных атмосферных осадков в их общее количество;

$M$  — масса твердых загрязняющих веществ (пыли), выбрасываемых источником в атмосферу в течение года, г/год;

$u$  — среднегодовая средняя скорость ветра в данной местности, м/сек;

$r$  — расстояние от источника выбросов, м;

$L_0$  — повторяемость направления ветра данного румба для круговой розы ветров, %;

$a$  — эмпирическая поправка на отличие в интенсивности вымывания жидкими и твердыми осадками (для нашего случая по рекомендации разработчиков модели расчета принимается равной 1,0);

$L_\lambda, L_3$  — повторяемость направлений ветра данного румба для летней и зимней розы ветров соответственно, %;

$t_{ва}, t_{вз}$  — относительная (в долях года) продолжительность выпадения жидких и твердых осадков,

$k$  — число рассматриваемых фракций частиц взвешенных веществ (пыли);

$m_i$  — доля общей массы пыли, приходящаяся на  $i$ -ю фракцию частиц;

$u_i$  — постоянная вымывания  $i$ -й фракции частиц,  $\text{с}^{-1}$ .

Величина среднегодового сухого потока вычисляется по формуле:

$$P_c = \sum_{i=1}^k (V_{из} t_{сз} + V_{иа} t_{са}) q_i, \quad (3)$$

$V_{из}$  — скорость осаждения  $i$ -й фракции частиц пыли в зимний период, м/с;

$t_{сз}$  — продолжительность периода залегания снежного покрова за вычетом времени выпадения осадков в этот период, с;

$V_{иа}$  — скорость осаждения  $i$ -й фракции частиц пыли на поверхность, лишенную снежного покрова, м/с;

$t_{са}$  — продолжительность периода отсутствия снежного покрова за вычетом времени выпадения осадков, с;

$q_i$  — среднегодовая приземная концентрация  $i$ -й фракции,  $\text{г}/\text{м}^3$ , которая рассчитывается на ЭВМ по унифицированной программе расчета загрязнения атмосферы с базовым блоком «Средние», к которому поставлен файл с метео- и климатическими характеристиками по г. Владикавказу.

При этом значения величин принимаются:

$b, u, L_0, L_\lambda, L_3, t_{ва}, t_{вз}, t_{сз}, t_{са}$  — на основании данных климатологических характеристик, выдаваемых органом Росгидромета для данной местности (либо по климатологическим справочникам);

$u_i, V_{из}, V_{иа}$  — на основании нижеследующей табл. 2, принятой согласно [3];

$M$  — на основании данных предприятия (из формы 2 ТП-воздух);

$r$  — на основании картографического материала;

Таблица 2

## Параметры удаления частиц из атмосферы на подстилающую поверхность

Класс по размеру	Диаметр частиц, мкм	Постоянная вымывания, $u_i \times 10^{-4}, \text{с}^{-1}$	Скорость осаждения, м/с	
			на снег, $V_{из}$	на почву, $V_{иа}$
Очень мелкие	< 1	0,01	0,001	0,010
Мелкие	1–10	0,70	0,007	0,013
Средние, крупные	10–100	3,83–4,48	0,042–0,151	0,043–0,155
Очень крупные	> 100	5,00	0,420	0,430

$k=2$  — в соответствии с [4] при неизвестном дисперсном составе пыли (в общем случае) для пылящего источника выброса доля мелкодисперсных частиц от общей массы пыли составляет до 55%, тогда доля средних и крупных соответственно — 45%, т. е.:

$m_i$  — для мелких фракций частиц равно 0,55, для средних и крупных — 0,45.

В качестве примера рассмотрим расчет среднегодового потока пыли по свинцовой составляющей на местность г. Владикавказ на 2014 г. в точке отбора пробы № 2 (рис.). Направление ветра — юго-восточное, расстояние  $r=870$  м (расстояние принимаем до границы промплощадки параллельно направлению ветра).

Из климатологических данных принимается  $u=1,5$  м/с,  $L_0=7\%$ , также из данных по климатологии вычисляем  $b=0,098$ ,  $L_\lambda=7,33\%$ ,  $L_s=6\%$ ,  $t_{в\lambda}=0,353$ ,  $t_{вз}=0,099$ ,  $t_{сз}=3456 \times 10^3$  с,  $t_{с\lambda}=12268,8 \times 10^3$  с.

По табл. 2 принимаем — для мелких частиц  $y_i=0,7 \times 10^{-4}$ ,  $V_{из}=0,007$ ,  $V_{ia}=0,013$ ,

для средних и крупных частиц —  $y_i=3,83 \times 10^{-4}$ ,  $V_{из}=0,042$ ,  $V_{ia}=0,043$ .

Как указано выше,  $m_i=0,55$  и 0,45 для мелких и крупных фракций соответственно,  $k=2$ .

$M=0,65$  т/год =  $650000$  г/год — по свинцу согласно форме 2 ТП-воздух за 2014 г. для ОАО «Электроцинк».

Вычисленная по программе на ЭВМ для данной точки местности по свинцу с учетом его выбросов в атмосферу в 2014 г. среднегодовая приземная концентрация свинца (содержащегося в пыли) составит  $q_i=0,9618 \times 10^{-5}$  мг/м<sup>3</sup> =  $0,9618 \times 10^{-8}$  г/м<sup>3</sup>.

в том числе — для мелких частиц  $q_i=0,52899 \times 10^{-8}$  г/м<sup>3</sup>, для крупных частиц  $q_i=0,43281 \times 10^{-8}$  г/м<sup>3</sup>.

Подставляя вышеуказанные значения величин в ф-лу (2) получаем:

$$P_M=0,006921 \text{ г/м}^2\text{год};$$

Подставляя соответствующие значения величин в ф-лу (3) получаем:

$$P_C=0,003883 \text{ г/м}^2\text{год};$$

Суммарное годовое осаждение свинца от обоих потоков в этой точке (№ 2) за 2014 г., вычисленное по ф-ле (1), составит:

$$P=P_M+P_C=0,006921+0,003883=0,010804 \text{ г/м}^2\text{год}.$$

При этом необходимо отметить, что при вычислении  $P$  значения величин  $b$ ,  $M$ ,  $u$ ,  $t_{в\lambda}$ ,  $t_{вз}$ ,  $k$ ,  $m_i$ ,  $y_i$ ,  $V_{из}$ ,  $V_{ia}$ ,  $t_{сз}$ ,  $t_{с\lambda}$  для всех точек данной местности в текущем году будут одинаковые, изменяются лишь значения величин  $L_0$ ,  $L^\lambda$ ,  $L_s$ ,  $r$ , в зависимости от дислокации на местности точек отбора проб, соответственно изменяется и рассчитываемая  $q_i$  для каждой из точек. Величина  $M$ , принимаемая по форме 2 ТП-воздух для каждого рассчитываемого года, естественно, также меняется.

Подобным образом были вычислены величины полных потоков осаждения для всех 13 точек местности г. Владикавказ (см. рис.) по исследуемым веществам — кадмий, медь, свинец, цинк и мышьяк, содержащихся в пыли согласно параметрам выбросов в атмосферу по ОАО «Электроцинк» за 2014 г. Данные расчетов полных потоков осаждения приведены в табл. 3, из которой видно, что максимальные годовые значения потока осаждения приходятся на точку №3, так как она находится ближе всех остальных точек отбора проб к промплощадке предприятия. Указанное подтверждается и данными исследований, приведенных в табл. 1, из которой видно, что в данной точке имеет место максимальное загрязнение почвы вредными веществами.

ОАО «Электроцинк» вошло в состав ООО «УГМК-Холдинг» в 2004 г., на протяжении всех последующих лет планомерно осуществлялись мероприятия по сокращению вредных выбросов в атмосферу. В 2012 г. предприятием были достигнуты утвержденные нормативы ПДВ по всем ингредиентам и их суммациям, выбрасываемым в атмосферу, в период 2010–2013 гг. были получены положительные санитарно-эпидемиологические заключения на проекты санитарно-защитной зоны предприятия. Со-

Таблица 3

Величина расчетного полного потока осаждения в местах отбора проб почвы за 2014 г., г/год

№ точки отбора проб	Загрязняющие вещества				
	Кадмий	Медь	Свинец	Цинк	Мышьяк
1	0,00030	0,00011	0,00433	0,09222	0,00009
2	0,00072	0,00029	0,01080	0,21569	0,00025
3	0,01082	0,00306	0,13364	2,52676	0,00372
4	0,00080	0,00032	0,01232	0,27325	0,00028
5	0,00104	0,00053	0,01505	0,32274	0,00040
6	0,00094	0,0004	0,01555	0,31844	0,00035
7	0,00061	0,00025	0,01007	0,22198	0,00020
8	0,00038	0,00017	0,00620	0,13500	0,00013
9	0,00047	0,00017	0,00688	0,12486	0,00016
10	0,00087	0,00033	0,01315	0,28163	0,00029
11	0,00054	0,00020	0,00813	0,17347	0,00018
12	0,00099	0,00036	0,01447	0,31570	0,00034
13	0,00011	0,00035	0,00149	0,03400	0,00033

крашение вредных выделений в воздушный бассейн от предприятия до нормативных также прослеживается из отчетов по форме 2ТП-воздух за 2004–2014 гг., где выбросы в атмосферу по указанным выше веществам — кадмию, свинцу, цинку, меди и мышьяку сократились.

Зная вычисленную величину осаждения по каждому веществу в 2014 г. (табл. 3) и валовые выбросы в атмосферу этих веществ от предприятия в 2014 и других годах (из отчетов по 2ТП-воздух предприятия), можем определить (в первом приближении) величины осаждений в точках отбора для других годов, так как из ф-л (2) и (3) следует, что величины потоков прямо пропорциональны величине М (массе валовых выбросов в атмосферу, причем  $q$  также прямо пропорциональна М).

Например, для меди полный поток на подстилающую поверхность (почву) для точки №3 (где имеет место максимум осаждения) в 2004 г. составит:

$$(0,00306/0,014) \times 0,117 = 0,02561 \text{ (г/год),}$$

где: 0,00306 г/год — полный поток частиц меди в точке № 3 в 2014 г. (табл. 3);

0,014 т/год– валовые выбросы в атмосферу по меди в 2014 г. согласно отчета 2ТП-воздух;

0,117 т/год– валовые выбросы в атмосферу по меди в 2004 г. согласно отчета 2ТП-воздух.

Аналогично определяем потоки всех остальных веществ в точке №3 по каждому году с 2004 по 2014 г., затем определяем суммарные значения потоков по каждому веществу за 11-летний период 2004–2014 гг., т. е. за период нахождения ОАО «Электроцинк» в составе ООО «УГМК-Холдинг».

Таким образом определили массу осажденных на землю вредных веществ от выбросов ОАО «Электроцинк» за 11-летний период на площадке отбора проб № 3.

В соответствии с требованиями по выполнению анализов загрязнения почвы — отбор проб почвы производится на площади 5×5 м (см. выше) на глубине до 0,2 м, соответственно объем исследуемой почвы составит 5×5×0,2=5 м<sup>3</sup>. При плотности почвы (в среднем) 1600 кг/м<sup>3</sup> масса исследуемой почвы для каждой площадки отбора проб составит 1600×5=8000 кг. Масса вредного вещества, содержащегося в исследованной пробе почвы определяется как произведение его концентрации в почве (см. табл. 1) на указанную массу пробы (8000 кг). Так, например, содержание свинца в пробе почвы на площадке (точке) отбора №3

Таблица 4

**Величина расчетного полного потока осаждения в точке №3 отбора проб почвы за 11-летний период (2004–2014 гг.)**

Год	Вещество, г/год				
	Кадмий	Медь	Свинец	Цинк	Мышьяк
2004	0,017960	0,025610	1,379580	7,907918	0,017789
2005	0,015103	0,005691	0,839026	7,759770	0,017168
2006	0,018777	0,020138	0,475696	6,508646	0,027510
2007	0,023471	0,021233	0,498830	6,362764	0,025442
2008	0,018573	0,020576	0,300537	6,187829	0,008481
2009	0,018573	0,020576	0,215643	5,353747	0,010756
2010	0,020614	0,012258	0,235266	5,794896	0,007653
2011	0,022450	0,004159	0,233407	5,946753	0,006826
2012	0,016532	0,004159	0,188585	3,990121	0,008687
2013	0,583710	0,002846	0,133641	2,597236	0,004551
2014	0,010817	0,003065	0,133641	2,526767	0,003723
В сумме за период 2004–2014 гг., г	0,766578	0,140310	4,633852	60,936446	0,138586

Таблица 5

**Доля вредных веществ в почве, накопленная от выбросов ОАО «Электроцинк»**

Вещество	Масса вредного вещества в пробе почвы (точка № 3) по инструментальным замерам, г	Масса осажденных частиц из воздуха от выбросов ОАО «Электроцинк» за 11-летний (в точке 3, табл. 4)		Кларки элементов в земной коре	
		г	% к массе вредного вещества в пробе почвы по инструментальным замерам	г	% к массе вредного вещества в пробе почвы по инструментальным замерам
Кадмий	58,134	0,766	1,3	0,042	0,07
Медь	230,14	0,140	0,06	15,04	6,53
Свинец	3310,88	4,634	0,14	5,12	0,15
Цинк	955,36	60,936	6,38	26,56	2,78
Мышьяк	35,26	0,138	0,39	0,544	1,54

(на 25 м<sup>2</sup>) составит 10346,5 мг/кг × 8000 кг = 82772000 мг = 82772 г, тогда на 1 м<sup>2</sup> — 3310,88 г.

Согласно [2] для оценки уровня загрязнения почв применяется значение фоновой концентрации вещества в почвах региона или кларков. Установленные кларки почв населенных пунктов являются их эколого-геохимической характеристикой, отражающей совместное воздействие техногенных и природных процессов, происходящих в определенном временном срезе.

Теперь определяем возможную долю массы накопления свинца в почве от выбросов ОАО «Электроцинк» от общей массы свинца в почве по результатам анализов (на 1 м<sup>2</sup>) в точке 3.

За 11-летний период (2004–2014 гг.) масса осаждаемого на землю свинца составляет 4,633852 г (табл. 4), содержание свинца в пробе почвы 3310,88 г (см. выше), тогда доля от выпадения выбросов свинца составит  $4,633852:3310,88=0,0014$  или 0,14%.

Затем вычисляем массы загрязнений в пробе почвы по всем остальным веществам и доли накоплений для каждого вещества, данные расчетов приведены в табл. 5.

Из табл. 5 видно, что доля (вклад) вредных веществ, накопленных в почве путем их осаждения от выбросов ОАО «Электроцинк» составляет от 0,06% (по меди) до 6,38% (по цинку), а доли кларков составляют от 0,07% (кадмий) до 6,53% (медь).

При этом, как указано выше, для расчета принята масса загрязнений в ближайшей к предприятию точке отбора №3, где по результатам анализов имеет место максимальное загрязнение почвы. Если же принять для расчета другие точки отбора проб в городе, то доля от такого загрязнения почвы из воздушных выбросов предприятия, получится намного меньше.

Эффективность модернизации производства с использованием передовых технологий, проводимых ООО «УГМК-Холдинг» на ООО «Электроцинк» в период 2004–2014 гг., показывало снижение воздействия предприятия на почву.

**Выводы.** 1. Предложенная методика позволяет оценить долю вклада выбросов промышленного предприятия в формирование загрязнения почвы для целей обеспечения санитарно-гигиенического мониторинга, выполнения требований санитарных норм и правил, оценки эффективности мероприятий по модернизации производства. 2. Для изучения вопроса о реальном загрязнении почвы необходимо выявление всех возможных источников ее загрязнения, в том числе учет минералогического и природного состава почв города.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Быков А.А., Счастливцев Е.Л., Пушкин С.Г., Смирнова О.В. Моделирование загрязнения почвы атмосферными выбросами от промышленных объектов угледобывающего региона. // Ползуновский вестник. — 2006. — №2.
2. Виноградов А.П. Средние содержания химических элементов в главных типах изверженных пород земной коры. // Геохимия. — 1962. — №7. — С. 555–571.
3. ГН 2.1.7.2511–09 «Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве», утв. Постановлением гл. гос. сан. врача РФ от 18.03.2009 г. №32.
4. Рапопорт О.А., Копылов И.Д., Рудой Г.Н. К вопросу о нормировании выбросов мелкодисперсных частиц размерами менее 10 мкм (PM10) и менее 2,5 мкм (PM2,5). // Экология производства. — 2012. — №8. — С. 38–43.

## REFERENCES

1. Bykov A.A., Schastlivtsev E.L., Pushkin S.G., Smirnova O.V. Models of soils pollution with industrial releases into atmosphere in coal mining region // Polzunovskiy vestnik. — 2006. — 2 (in Russian).
2. Vinogradov A.P. Average chemical elements contents of main types of erupted rocks // Geokhimiya. — 1962. — 7. — P. 555–571 (in Russian).
3. GN 2.1.7.2511–09 «Approximately allowable concentrations of chemicals in soil» approved by Resolution of RF Chief State Sanitary officer on 18/03/2009 N 32 (in Russian).
4. Rapoport O.A., Kopylov I.D., Rudoy G.N. On regulation of releases of low-dispersed particles measuring under 10 mkm (RM10) and under 2,5 mkm (RM2,5) // Ekologiya proizvodstva. — 2012. — 8. — P. 38–43 (in Russian).

Поступила 15.08.2016

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

- Копылов Игорь Дмитриевич (Kopylov I.D.),  
нач. Упр. экологич. безопасности ООО «УГМК-Холдинг».  
E-mail: i.kopylov@ugmk.com.
- Березина Рано Файзыевна (Berezina R.F.),  
гл. спец. Упр. экологич. безопасности ООО «УГМК-Холдинг». E-mail: r.berezina@ugmk.com.
- Рапопорт Олег Аронович (Rapoport O.A.),  
нач. отд. экологич. нормирования Упр. экологич. безопасности ООО «УГМК-Холдинг». E-mail: o.rapoport@ugmk.ru.
- Рудой Григорий Николаевич (Rudoy G.N.),  
дир. по горному пр-ву ООО «УГМК-Холдинг»,  
канд. тех. наук. E-mail: luea@ugmk.com.
- Кузьмин Дмитрий Вячеславович (Kuz'min D.V.),  
науч. сотр. лаб. СГМ и УР ФБУН ЕМНЦ ПОЗРПП Роспотребнадзора. E-mail: dmitryk@ymrc.ru.