

Ковалёв А.А., Варивода А.В.

## Исследование миграции тяжёлых и редких металлов из золошлаковых отвалов тепловых электростанций

Ковалев Александр Александрович, преподаватель  
 Национальный университет гражданской защиты Украины, г. Харьков, Украина  
 Варивода Алексей Витальевич, директор  
 ООО Межрегиональный центр нефтегазовых технологий, г. Харьков, Украина

**Аннотация.** Статья посвящена решению проблемы повышения экологической безопасности в районах размещения золоотвалов тепловых электростанций, путём изучения миграции соединений тяжелых металлов из объёма золошлаковых отвалов тепловых электростанций в прилегающие почвы. Для этого были выполнены анализы образцов золошлака и почвы вблизи золошлаковых отвалов Змиевской и Запорожской тепловых электростанций. На основе полученных данных сделана оценка и установлена закономерность миграции соединений тяжелых металлов из тела золоотвала в прилегающие грунты, согласно которой снижение концентрации тяжёлых металлов происходит обратнопропорционально расстоянию от источника загрязнения и прямопропорционально их исходной концентрации. Установленная закономерность распределения концентраций тяжелых металлов в почвах позволит разработать современные, эффективные методы экологически безопасной эксплуатации золошлаковых отвалов тепловых электростанций.

**Ключевые слова:** золоотвал, миграция, тяжёлые и редкие металлы, закономерность.

К настоящему времени в отвалах тепловых электростанций (ТЭС) Украины накоплено 358,8 млн т золошлаковых отходов (ЗШО) на общей площади более 3170 га. Среднегодовой выход ЗШО достиг 14 млн т и в связи с ухудшением качества топлива имеет тенденцию к росту. Это создает технологические и экологические проблемы: увеличиваются производственные затраты и стоимость природоохранных мероприятий на ТЭС [1-2].

Состав и строение ЗШО определяются рядом факторов, важнейшими среди которых являются: условия образования (добыча и обогащение угля, сжигание угля и т.д.); состав сырьевого месторождения; физико-химические процессы климатического воздействия на отвалы.

ЗШО интенсивно окисляются, выщелачиваются и разрушаются, что приводит к изменению их минералогического и вещественного составов, выносу соединений тяжёлых и редких металлов (ТМ) и образованию ореолов рассеяния вокруг отвалов [3]. В приповерхностной зоне отвалов ЗШО под воздействием атмосферного кислорода, осадков, фильтрационных полей и др. факторов происходит интенсивное растворение и миграция ионов ТМ. При этом могут образовываться обедненные и обогащенные металлами участки с восстановленными и окисленными формами их нахождения.

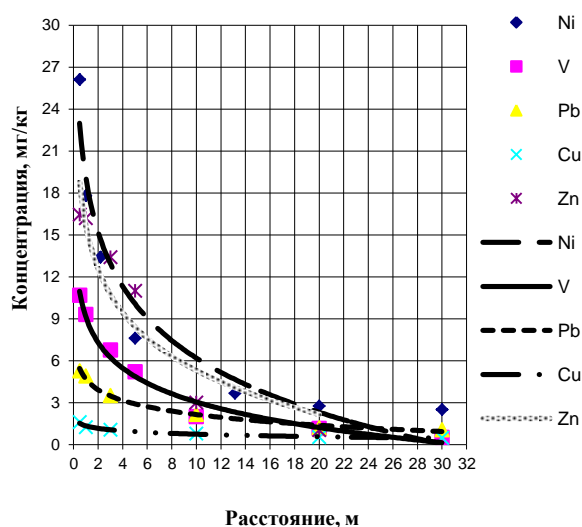
Разработка современных эффективных методов экологически безопасной эксплуатации золошлаковых отвалов не возможна без изучения состава и путей миграции в почве присутствующих в них микропримесей, представляющих собой, в основном, растворимые соединения ТМ.

Для изучения миграции тяжелых металлов из шламоотвалов Змиевской и Запорожской ТЭС в почвенную среду были проведены анализы образцов золошлака и прилегающих почв. Пробы ЗШО двух участков отвала отбирали на расстоянии 100 м от границы к его середине. Также проводился отбор проб почвы на расстоянии 0,5, 1, 3, 5, 10, 20 и 30 м от внешней границы отвала. Анализ миграции тяжелых металлов проводили путём сопоставления их содержания в золошлаках и в почве возле отвалов, сравни-

вая полученные данные с фоновыми. Фоновые значения концентраций тяжёлых металлов определялись путем отбора и анализа проб почвы через определенное расстояние от отвала (до 50 м) до установления постоянного значения их концентрации (рис. 1, таблица 1).

Анализ показал, что для исследуемых золоотвалов фоновая концентрация тяжелых металлов в почве устанавливается на расстоянии 20 м от отвала. Некоторое отличие содержания ТМ в пробах обусловлено изменением качества сжигаемых углей и перераспределением ЗШО при гидровыносе, что было нами учтено при проведении исследований.

Рассчитанные коэффициенты контрастности ( $K$ ) иллюстрируют превышение содержания ТМ в почве, прилегающей к шламоотвалам, в десятки раз по сравнению с фоновыми значениями. Коэффициенты контрастности в анализируемых пробах варьируют от 1,2 (Pb в пробах участка 1) до 73,6 (V в пробах участка 1). Среди ТМ самые высокие значения  $K$  отмечены для ванадия – в шламоотвале Запорожской ТЭС – 45,0 – 73,6, в шламоотвале Змиевской ТЭС – 15,5 – 39,5. Для Ni значения  $K$  находятся в пределах 5,4 – 14,2.



**Рис. 1.** Изменение содержание соединений тяжелых металлов в образцах почвы при удалении от шламоотвала

Таблица 1.

**Химический анализ проб ЗПО и почв, мг/кг**

Объект исследования	pH	Cu	Zn	Pb	V	Ni	$\sum \frac{C_i}{ПДК_i}$
1	2	3	4	5	6	7	8
Шламоотвал Запорожской ТЭС							
<b>Среднее значение проб участка 1</b>							
Почва, примыкающая к участку 1 отвала, $C_n$	8,2	0,8	16,4	5,3	10,7	26,1	
Фоновые значения проб участка 1, $C_\phi$	6,4	0,5	5,6	1,04	0,11	1,9	
Коэффициент контрастности проб участка 1, $K$ ( $C_n/C_\phi$ )	1,28	1,6	4,5	1,2	73,6	9,2	
ПДК мг/кг		3,0	23,0	20,0	6,0	4,0	
$C_n/ПДК_i$		0,3	1,1	0,1	1,3	4,4	7,2
<b>Среднее значение проб участка 2</b>							
Почва, примыкающая участку 2 отвала, $C_n$	7,6	7,2	25,8	15,8	6,3	14,0	
Фоновые значения проб участка 2, $C_\phi$	6,4	0,5	6,14	3,0	0,14	1,4	
Коэффициент контрастности проб участка 2, $K$ ( $C_n/C_\phi$ )	1,2	14,1	4,2	5,2	45,0	9,8	
ПДК мг/кг		3,0	23,0	20,0	6,0	4,0	
$C_n/ПДК_i$		2,4	1,1	0,8	1,05	3,5	8,9
Шламоотвал Змиевской ТЭС							
<b>Среднее значение проб участка 1</b>							
Почва, примыкающая к участку 1 отвала, $C_n$	9,5		2,6	6,2	31,6	1,0	
Фоновые значения проб участка 1, $C_\phi$	7,4		1,9	3,4	0,8	0,2	
Коэффициент контрастности проб участка 1, $K$ ( $C_n/C_\phi$ )	1,3		1,4	1,8	39,5	5,4	
ПДК мг/кг		3,0	23,0	20,0	6,0	4,0	
$C_n/ПДК_i$			0,1	0,3	5,3	0,3	6,0
<b>Среднее значение проб участка 2</b>							
Почва, примыкающая участку 2 отвала, $C_n$	5,7	3,5	6,4	5,4	12,3	4,1	
Фоновые значения проб участка 2, $C_\phi$	7,3	0,9	2,2	3,0	0,7	0,3	
Коэффициент контрастности проб участка 2, $K$ ( $C_n/C_\phi$ )	0,8	3,8	2,9	1,8	15,5	14,2	
ПДК мг/кг		3,0	23,0	20,0	6,0	4,0	
$C_n/ПДК_i$		1,2	0,3	0,3	2,0	1,0	4,8

Существенный интерес представляют полученные данные, характеризующие распределение концентраций тяжёлых металлов в почве при изменении расстояния от источника загрязнения – золоотвала, а так же степень снижения концентрации на единицу длины удаления от источника.

Исходя из предположения о том, что концентрация тяжелых металлов в почве в зависимости от расстояния от кромки золоотвала изменяется по закону:

$$\frac{dC}{dL} = \left( k + \frac{b}{L^n} \right) \cdot C \quad (1)$$

где:  $L$  – расстояние от кромки золоотвала, м;

$C$  – концентрация соответствующего загрязнителя, мг/кг;

$k, b, n$  – эмпирические коэффициенты.

Таким образом, снижение концентрации тяжёлых металлов происходит обратно пропорционально расстоянию от источника загрязнения и прямо пропорционально исходной концентрации рис 2. После интегрирования приведенного выражения в границах от  $C_0$  до  $C_\phi$  и  $L_0$  до  $L_\phi$ , получим:

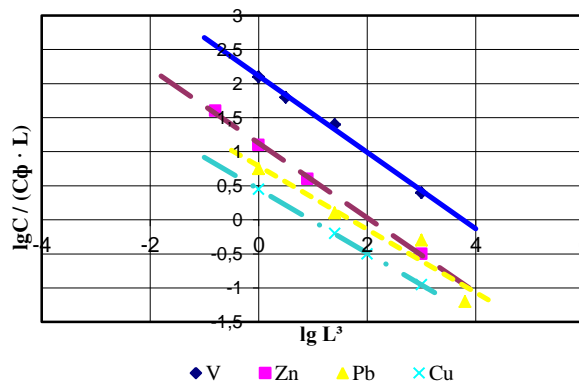
$$\ln C \Big|_{C_0}^{C_\phi} = \left( k \cdot L + \frac{L}{L^{n+1}} \right) L_{L_0}^{L_\phi} \quad (2)$$

$$\ln \frac{C_0}{C_\phi} \Big|_{C_0}^{C_\phi} = \left( k + \frac{b}{L} \right) \Big|_{C_0}^{C_\phi} \quad (3)$$

где:  $C_0, C_\phi$  – исходная и фоновая концентрации соответствующего загрязнителя, мг/кг;

$L_0, L_\phi$  – начальное и конечное расстояние от кромки золоотвала, м;

Для устранения неопределённости  $L_0$  принимают на расстоянии 1,5 м от границы золоотвала.



**Рис 2.** Снижение концентрации тяжёлых металлов при удалении от источника загрязнения

для ванадия  $\frac{C}{C_\phi \cdot L} = 8,935 \cdot L^{-1,89}$

для цинка  $\frac{C}{C_\phi \cdot L} = 3,03 \cdot L^{-1,62}$

для свинца  $\frac{C}{C_\phi \cdot L} = 2,12 \cdot L^{-1,50}$

для меди  $\frac{C}{C_\phi \cdot L} = 1,57 \cdot L^{-1,41}$

или в безразмерном виде  
для ванадия  $\frac{C}{C_\phi} = 3,1 \cdot 10^{-2} \cdot \left( \frac{L_\phi}{L} \right)^{1,89}$

для цинка  $\frac{C}{C_\phi} = 2,36 \cdot 10^{-2} \cdot \left( \frac{L_\phi}{L} \right)^{1,62}$

$$\text{для свинца } \frac{C}{C_{\phi}} = 2,37 \cdot 10^{-2} \cdot \left(\frac{L_{\phi}}{L}\right)^{1,50}$$

$$\text{для меди } \frac{C}{C_{\phi}} = 2,3 \cdot 10^{-2} \cdot \left(\frac{L_{\phi}}{L}\right)^{1,41}$$

Высокое содержание соединений ТРМ в золошлаковых отходах не позволяет освободить территорию

хранилищ шлама за счет его вывоза и захоронения. Следовательно, установленная закономерность распределения концентраций тяжелых металлов в почвах позволит разработать современные, эффективные методы экологически безопасной эксплуатации золошлаковых отвалов тепловых электростанций.

#### ЛИТЕРАТУРА (REFERENCES TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Статистический ежегодник [Текст]. – К.: Государственный комитет статистики Украины, 2012. – X. – 2012. – 600 с. *Statisticheskyy yezhegodnik [Tekst]. – K.: Gosudarstvennyy komitet statistiki Ukrainy, 2012. – KH. – 2012. – 600 s. 2.*
2. Управление опасными промышленными отходами. Современные проблемы и решения [Текст] / А.М. Касимов, Л.Л. Товажнянский, В.И. Тошинский, Д.В. Сталинский. Монография; ред. Касимов А.М. – Х.: Изд. Дом НТУ «ХПИ», 2009. – 512 с. *Upravleniye opasnymi promyshlennymi otkhodami. Sovremennyye problemy i resheniya [Tekst] / A.M. Kasimov, L.L. Tovazhnyanskiy, V.I. Toshinskiy, D.V. Stalinskiy. Mono-*
3. Управление промышленными отходами. Промышленные отходы и окружающая среда в современном мире [Текст]: учебное пособие в 2-х книгах. Книга 1. Часть 1 / А.В. Гриценко, Е.Л. Макаровский, И.Г. Черванев, И.А. Шеренков; Харьков: РИП «Оригинал», 2000. – 80 с. *Upravleniye promyshlennymi otkhodami. Promyshlennyye otkhody i okruzhayushchaya sreda v sovremennom mire [Tekst]: uchebnoye posobiye v 2-kh knigakh. Kniga 1. Chast 1 / A.V. Gritsenko, E.L. Makarovskiy, I.G. Chervanев, I.A. Sherenkov; Kharkov: «Original», 2000. – 80 s.*

**Kovalev A.A., Varivoda A.V.**

#### **Research migration of heavy and rare metals from the dumps ash and slag thermal power stations**

**Abstract.** Article devoted to the solution problems increase of ecological safety in the areas where ash and slag dumps of thermal power plants by studying the migration of heavy metals from the slag heaps of volume thermal power stations in the surrounding soils. For this purpose analysis of samples were performed ash, slag and soils near the dumps Zmievskey and Zaporizhia thermal power plants. Based on these results and estimates are established law of migration of heavy metals in the ash dump bodies adjacent soils, according to which the decrease in the concentration of heavy metals occurs inversely to the distance from the source of contamination and in direct proportion to their original concentration. Distribution law found concentrations of heavy metals in soils will develop modern and effective methods of environmentally safe operation of the slag heaps from thermal power plants.

**Keywords:** ash and slag dump, migration, heavy and rare metals, regularity.