

ГЕОГРАФИЯ ЗА РУБЕЖОМ

УДК 504.064

DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2020-2(168-172)

С.Б. ЯРУСОВА*, **, **В.Н. МАКАРОВА****

*Институт химии ДВО РАН,
690022, Владивосток, пр. 100-летия Владивостока, 159, Россия, yarusova_10@mail.ru
**Владивостокский государственный университет экономики и сервиса,
690014, Владивосток, ул. Гоголя, 41, Россия, yarusova_10@mail.ru, boyikova@mail.ru

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ В МЕСТАХ ХРАНЕНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ШЛАКОВ В ДНЕПРОПЕТРОВСКОЙ ОБЛАСТИ (УКРАИНА)

Исследован уровень загрязнения приземного слоя атмосферного воздуха в местах размещения и длительного хранения шлаков металлургического производства. Выявлено, что накопленные отходы представляют собой источники перманентного поступления в окружающую среду загрязнителей, в частности, тяжелых металлов. Расчет интенсивности выбросов при переработке и статическом хранении шлаков ферросплавного производства ПАО «Никопольский завод ферросплавов» (г. Никополь, Украина) позволил определить величину локального пылевого загрязнения окружающей среды и определить потенциальную опасность загрязнения тяжелыми металлами, входящими в состав отвального шлака ферросплавного производства. Интенсивность выноса пыли при переработке (сыпка, перевалка, перемещение) марганецсодержащих отвальных шлаков, полученная расчетным путем, составляет 0,122 г/с, а интенсивность выноса пыли при статическом хранении материала на шлаковом отвале — 280 г/с. Из тяжелых металлов, входящих в состав шлака, наибольшей интенсивностью выброса характеризуется марганец, далее следуют никель и кобальт. Наименьшим выбросом характеризуется цинк. Данные по интенсивности выноса тяжелых металлов при перемещении шлака коррелируют с расчетами для его статического хранения. Содержание марганца на границе санитарно-защитной зоны предприятия при статическом хранении шлаков на отвале, занимающем площадь 13,8 га, в три раза превышает нормативные значения, что представляет угрозу для здоровья человека. Установлено, что каждую секунду только от одного отвала в приземный слой атмосферы поступает 0,92 г марганца. Полученные данные свидетельствуют о значительном вкладе промышленных отвалов в уровень загрязнения атмосферного воздуха городской среды.

Ключевые слова: шлаковый отвал, тяжелые металлы, пыление, окружающая среда, интенсивность выноса, карты рассеивания.

S.B. YARUSOVA*, **, **V.N. MAKAROVA****

*Institute of Chemistry, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences,
690022, Vladivostok, pr. Stoletiya Vladivostoka, 159, Russia, yarusova_10@mail.ru
**Vladivostok State University of Economics and Service,
690014, Vladivostok, ul. Gogolya, 41, Russia, yarusova_10@mail.ru, boyikova@mail.ru

AIR CONTAMINATION IN METALLURGICAL SLAG DUMPS IN DNIPROPETROVSK OBLAST (UKRAINE)

The level of contamination of the surface layer of the atmospheric air in the places of disposal and long-term storage of metallurgical slags has been investigated. It is found that accumulated waste is the source of permanent input of pollutants, heavy metals in particular, into the environment. A calculation of the emission intensity during processing and static storage of ferroalloy slag made by PJSC Nikopol Ferroalloy Plant (Nikopol, Ukraine) thus enabling identification of the magnitude of local dust pollution of the environment and determination of the potential hazard of contamination with heavy metals forming part of dump slag. The intensity of dust discharge during processing (pouring, handling and moving) of manganese-containing waste slag, obtained by calculations, is 0,122 g/s, and the rate of dust discharge during static storage of material on the slag dump is 280 g/s.

Among the heavy metals making up the slag, manganese has the highest emission intensity, followed by nickel and cobalt. The lowest value of the emission was obtained for zinc. Data on the intensity of heavy metals discharge when slag is moved correlate with calculations for static slag storage. The content of manganese at the boundary of the sanitary protection zone of the enterprise during static storage of slags on a dump occupying an area of 13,8 hectares is 3 times higher than the normative values, which poses a threat to human health. It is found that the surface layer of the atmosphere receives 0,92 g of manganese from only one dump every second. The data obtained indicate a significant contribution of industrial dumps to the level of atmospheric air contamination in the urban environment.

Keywords: slag dump, heavy metals, dust discharge, environment, rate of discharge, environment.

ВВЕДЕНИЕ

В мире практически не существует безотходных производств. Metallургическое производство занимает лидирующие позиции по количеству отходов на единицу продукции. Большинство промышленных предприятий было основано еще в середине XX в., в непосредственной близости к ним организовывались места для хранения побочных продуктов металлургического производства.

Для складирования отходов отчуждаются значительные площади земельных угодий, в том числе сотни тысяч гектаров земель, пригодных для сельскохозяйственного использования. Транспортирование и складирование металлургических отходов отвлекают значительные средства от основного производства и представляют собой серьезные источники локального загрязнения [1].

Особенно значительные изменения компонентов окружающей природной среды наблюдаются в старых промышленных районах, где техногенное воздействие носит перманентный характер [2]. Шлаковые отвалы преимущественно сформированы без предварительных инженерно-геологических исследований и мероприятий по устройству противофильтрационных экранов их оснований. В связи с этим происходит существенная миграция различных химических элементов в окружающую среду (ОС), в частности тяжелых металлов (ТМ), их аккумуляция в объектах ОС. Использование отходов металлургии при получении строительных материалов, например бетона, — один из путей, способствующих уменьшению загрязнения воздушной среды от деятельности промышленных предприятий [3, 4].

Пространственные характеристики загрязнения и потенциальный экологический риск при загрязнении компонентов ОС тяжелыми металлами исследуются в различных странах [5–7]. Ключевое внимание при распространении вредных веществ от металлургического предприятия уделяется загрязнению воздушной среды от точечных организованных источников. При этом почти не рассматривается загрязнение ОС от мест открытого хранения промышленных отходов [8].

Шлаковые отвалы как источник загрязнения ОС характеризуются значительными концентрациями различных форм тяжелых металлов в своем составе [9]. Воздействие промышленных отвалов на атмосферу происходит вследствие пыления их поверхности и может распространяться на значительные расстояния даже при малых скоростях ветра [2, 10]. Поступление в атмосферу пыли, содержащей ТМ в их естественных соединениях, характерных для тех или иных рудообразований, представляет меньшую опасность для компонентов ОС, чем техногенные соединения тех же металлов, так как большинство из них легче переходит в водные растворы, чем природные соединения [10].

Основная масса выбросов осажается в непосредственной близости от источника загрязнения. Теоретически техногенные аномалии представляют собой систему концентрических колец, в которых концентрация ТМ убывает от центра к периферии [11]. Малые размеры частиц способствуют переходу элементов в водорастворимые соединения [11].

Следствие процесса пылевого загрязнения ОС — это воздействие отвалов на земельные ресурсы, проявляющееся в виде механического и химического загрязнения почвы, прилегающей к техногенно измененным территориям, что приводит к нарушению физико-механического состава и свойств почвенного покрова [12, 13].

Поступление техногенно трансформированных форм ТМ в биосферу противоречит основным принципам устойчивого развития [9, 14], а также отрицательно влияет на продуктивность сельскохозяйственных культур [15] и здоровье населения [12, 16–18].

Цель данной работы — исследование загрязнения воздушной среды в местах хранения металлургических шлаков на примере шлакового отвала производства ферросиликомарганца ПАО «Никопольский завод ферросплавов» (г. Никополь, Днепропетровская область, Украина). Расчет интенсивности выбросов при переработке и статическом хранении шлакового материала позволяет определить величину локального пылевого загрязнения ОС и потенциальную опасность загрязнения ТМ, входящими в состав отвального шлака ферросплавного производства. Следует отметить, что информации о подобных систематических исследованиях, касающихся экологических аспектов переработки и хранения шлаковых отвалов металлургического производства, сравнительно немного.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования по расчету выноса ТМ проводились на примере шлакового отвала производства ферросиликомарганца ПАО «Никопольский завод ферросплавов». К настоящему времени на отвале накоплено более 8 млн т марганецсодержащих шлаков ферросплавного производства.

Фактическое содержание различных форм ТМ I–III классов опасности в составе шлака ферросиликомарганца, полученного в результате производства ферросплавов, определялось методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии в центральной заводской лаборатории [19]. Авторами данной работы в период 2008–2015 гг. (усредненные показатели) существенных изменений в химическом составе шлака не зафиксировано.

Для выявления влияния отходов ферросплавного производства на ОС при открытом хранении проведен расчет выбросов в атмосферу от отвала шлаков ферросплавного производства, площадью 13,8 га (по данным завода), расположенного в 2,6 км севернее пос. Менжинское Днепропетровской области.

Расчет интенсивности выбросов при переработке и статическом хранении марганецсодержащих шлаков ферросплавного производства проводили по методическому пособию [20].

Вычисление интенсивности выбросов (г/с) при переработке (ссыпка, перевалка, перемещение материала) выполнено по формуле

$$A = \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_7 \cdot G \cdot 10^6 \cdot B'}{3600}, \quad (1)$$

где k_1 — весовая доля пылевой фракции в материале; k_2 — доля пыли (от всей массы пыли пыли), переходящая в аэрозоль; k_3 — коэффициент, учитывающий местные метеоусловия; k_4 — коэффициент, учитывающий местные условия, степень защищенности узла от внешних воздействий, условия пылеобразования; k_5 — коэффициент, учитывающий влажность материала; k_7 — коэффициент, учитывающий крупность материала; G — суммарное количество перерабатываемого материала, т/ч; B' — коэффициент, учитывающий высоту пересыпки [20]. Для расчета выбросов при пересыпке материала учитывалась и высота пересыпки до 10 м с учетом высоты отвала.

Расчет выбросов при статическом хранении шлакового материала проводился по следующей формуле:

$$B = k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6 \cdot k_7 \cdot q \cdot F, \quad (2)$$

где k_6 — профиль поверхности складированного материала и определяемый как $F_{\text{факт}}/F$; $F_{\text{факт}}$ — фактическая поверхность материала с учетом рельефа его сечения (учитывать только площадь, на которой производятся погрузочно-разгрузочные работы); q — унос пыли с 1 м² фактической поверхности; F — поверхность пыления в плане, м² [20].

Далее с помощью программы ЭОЛ-Плюс (версия 5.23) были построены карты рассеивания ТМ в приземном слое атмосферы (расчетная сетка с шагом 200 м), входящих в состав отвальных марганецсодержащих шлаков. Программой фиксируется изменение концентрации с определенным шагом и далее соединяются точки с одинаковой концентрацией в виде изолиний. Карты генерируются программой автоматически на основании полученных расчетных значений концентрации загрязнителей.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе исследования было проанализировано содержание ТМ (Zn, Ni, Co, Mn) в шлаке ферросиликомарганца. При этом рассмотрено две формы присутствия ТМ: валовая и подвижная. По результатам выявлено, что содержание Zn составляет 60,8 и 13,9 мг/кг, Ni — 108,5 и 9,6, Co — 140,7 и 26,9 и Mn — 3300 и 649 мг/кг соответственно. Отсюда можно сделать вывод, что состав шлака ферросиликомарганца характеризуется наибольшим содержанием марганца.

Проведенные расчеты показали, что интенсивность выноса пыли при переработке (ссыпка, перевалка, перемещение) марганецсодержащих отвальных шлаков, полученная расчетным путем, составляет 0,122 г/с, а при статическом хранении материала на шлаковом отвале — 280 г/с.

При учете интенсивности выноса пыли при статическом хранении и переработке шлаков, а также содержания ТМ в составе шлака рассчитана интенсивность выноса ТМ. Выявлено, что при статическом хранении вынос для Zn составляет $1,7 \cdot 10^{-2}$ г/с, для Ni — $3 \cdot 10^{-2}$, для Co — $3,9 \cdot 10^{-2}$, для Mn — $92 \cdot 10^{-2}$ г/с, а при пересыпке — для Zn — $7,4 \cdot 10^{-6}$ г/с, для Ni — $13,2 \cdot 10^{-6}$, для Co — $17,2 \cdot 10^{-6}$, для Mn — $0,4 \cdot 10^{-3}$ г/с.

Из этого следует, что при статическом хранении шлака происходит наибольший выброс марганца. Существенно меньшие, но фактически равные между собой величины выбросов получены для

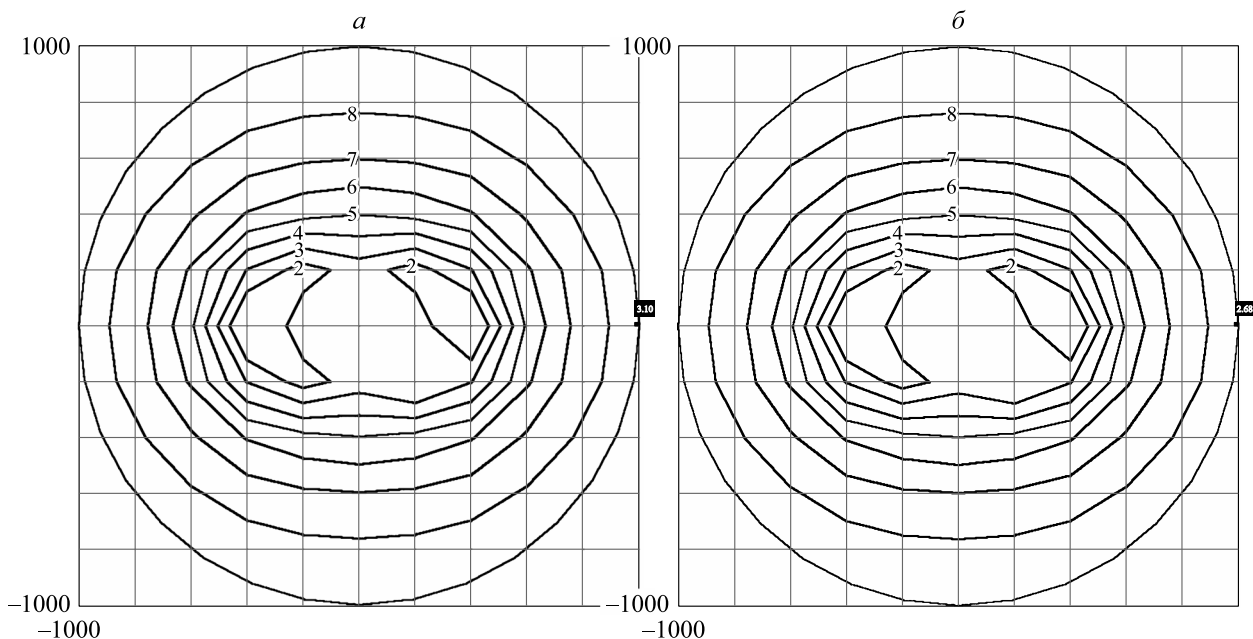


Диаграмма рассеивания марганца при статическом хранении шлака.

Величины концентраций в соответствии с расчетом (расчетная сетка с шагом 200 м) без учета фона (*a*) (кратность превышения ПДК: 2 – 11,01, 3 – 9,73, 4 – 8,46, 5 – 7,18, 6 – 5,9, 7 – 4,63, 8 – 3,35) и с учетом фона (*б*) (ПДК: 2 – 11,41, 3 – 10,13, 4 – 8,86, 5 – 7,58, 6 – 6,3, 7 – 5,03, 8 – 3,75).

никеля и кобальта. Наименьшее значение выброса получено для цинка. При этом видно, что при перемещении шлака по отвалу больше всего выбрасывается марганца, далее по величине интенсивности выброса следуют никель и кобальт. Наименьшее значение выброса получено для цинка.

Таким образом, данные по интенсивности выноса ТМ при перемещении шлака коррелируют с расчетами для статического хранения шлака.

Графически с помощью изолиний на рисунке изображено распространение марганца при статическом хранении шлаков на отвале без учета фона и с его учетом. На диаграммах показано распространение загрязнителей с шагом в 200 м, где 1 не отмечается на диаграмме и считается условно центром отвала, а последующие цифры указывают на кратность превышения ПДК в расчетных точках. Изучению подлежала территория, простирающаяся на 1000 м от отвала, что входит в пределы санитарно-защитной зоны (СЗЗ) предприятия. Величина ПДК для воздуха по марганцу составляет $0,01 \text{ мг/м}^3$ (максимальная разовая ПДК), согласно Приказу Минприроды Украины от 27.06.2006 г. № 309 «Нормативы предельно допустимых выбросов загрязняющих веществ из стационарных источников» [21].

Из полученных данных (см. рисунок, *a*) следует, что на границе СЗЗ, на территории, прилегающей к отвалу ферросплавных шлаков, величина рассеивания марганца в атмосфере (без учета фона) при статическом хранении составляет 2,68 ПДК. Полученная величина рассеивания марганца с учетом фона (см. рисунок, *б*) свидетельствует о максимальной концентрации, равной 3,1 ПДК.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, на примере марганецсодержащих шлаков Никопольского завода ферросплавов проведена оценка уровня загрязнения приземного слоя атмосферного воздуха в местах размещения и длительного хранения шлаков металлургического производства.

Исследования, связанные с оценкой воздействия металлургических шлаков на объекты окружающей среды, проводятся во всем мире. Это обусловлено тем, что отвалы шлаков представляют собой источник антропогенного воздействия на компоненты окружающей среды, являясь, в частности, причиной выброса токсичных и канцерогенных веществ в атмосферу. При этом ежегодно только на территории Российской Федерации образуются десятки миллионов тонн шлаков.

Страны-лидеры, идущие по пути вторичного использования металлургических шлаков, — Китай, Япония и США. В ряде европейских стран уровень переработки всех металлургических шлаков пре-

вышает 80 %, в то время как на территории РФ он составляет 15–50 %. В результате большая часть таких отходов хранится в отвалах, занимающих миллионы квадратных километров.

Устойчивое развитие металлургических комплексов должно базироваться на разработке мероприятий по совершенствованию производственных процессов, максимальному использованию отходов с получением новых видов полезной продукции. При этом необходим регулярный мониторинг воздействия металлургических шлаков на объекты окружающей среды.

Результаты, полученные в данной работе, представляют собой основу для проведения дальнейшего мониторинга состояния атмосферного воздуха в районе СЗЗ и за ее пределами. Аналогичные исследования необходимо проводить на всех предприятиях металлургического комплекса не только на территории РФ, но и за рубежом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Орлов Д.С., Садовникова Л.К., Лозановская И.Н. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении: Учеб. пособие для хим., хим.-технол. и биол. спец. вузов. — М.: Высш. шк., 2002. — 334 с.
2. Шильцова Г.В., Морозова Р.М., Литинский П.Ю. Тяжелые металлы и сера в почвах Валаамского архипелага. — Петрозаводск: Изд-во Карел. науч. центра РАН, 2008. — 109 с.
3. Harbutakova V.O., Estokova A., Luptakova A., Kovalcikova M. Investigation of slag-based concrete by mathematical analysis considering air pollution prevention // Energy Procedia. — 2017. — N 128. — P. 208–214.
4. Carvalho S.Z., Vernilli F., Almeida B., Oliveira M.D., Silva S.N. Reducing environmental impacts: The use of basic oxygen furnace slag in portland cement // Journ. of Cleaner Production. — 2018. — N 172. — P. 385–390.
5. Chen Y., Jiang X., Wang Y., Zhuang D. Spatial characteristics of heavy metal pollution and the potential ecological risk of a typical mining area: A case study in China // Process Safety and Environmental Protection. — 2018. — N 113. — P. 204–219.
6. Baydarashvili M., Shrednik N., Spasovskai A. Detection method of pollution with heavy metals ions of the soil // Procedia Engineering. — 2017. — N 189. — P. 630–636.
7. Khalid S., Shahid M., Niazi N.K., Murtaza B., Bibi I., Dumat C. A comparison of technologies for remediation of heavy metal contaminated soils // Journ. of Geochemical Exploration. — 2017. — N 182. — P. 247–268.
8. Tiwari M.K., Bajpai S., Dewangan U.K. Air and leaching pollution scenario by iron and steel plants, in central India // Elixir Pollution. — 2016. — N 101. — P. 43495–43501.
9. Макаров А.Б., Талалай А.Г. Техногенно-минеральные месторождения и их экологическая роль // Литосфера. — 2012. — № 1. — С. 172–176.
10. Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в агроландшафте. — СПб.: Изд-во Петерб. ин-та ядерной физики РАН, 2008. — 216 с.
11. Павлов А.Н. Экология: рациональное природопользование и безопасность жизнедеятельности. — М.: Высш. шк., 2005. — 343 с.
12. Nikiforov B., Balabaeva L., Petrov I. Heavy metal exposure of the population in an area of nonferrous metallurgy a prerequisite for the development of atherosclerotic diseases // Probl. Khig. — 1987. — N 12. — P. 27–37.
13. Khalid S., Shahid M., Niazi N.K., Murtaza B., Bibi I., Dumat C. A comparison of technologies for remediation of heavy metal contaminated soils // Journ. of Geochemical Exploration. — 2017. — N 182. — P. 247–268.
14. Зайцев А.К., Похвиснев Ю.В. Экология и ресурсосбережение в черной металлургии // Соросов. обр. журн. — 2001. — Т. 7, № 3. — С. 52–58.
15. Seshadri B., Bolan N.S., Naidu R. Rhizosphere — induced heavy metal (loid) transformation in relation to bioavailability and remediation // Journ. of Soil Science and Plant Nutrition. — 2015. — N 15 (2). — P. 524–548.
16. Антонок Н.А., Красюк И.В. Принципы устойчивого развития общества в условиях европейской интеграции // Механізм регулювання економіки. — 2009. — № 2. — С. 229–240.
17. Hernandez-Pellon A., Fernandez-Olmo I., Ledoux F., Courcot L., Courcot D. Characterization of manganese-bearing particles in the vicinities of a manganese alloy plant // Chemosphere. — 2017. — Vol. 175. — P. 411–424.
18. Garcia-Guinea J., Correcher V., Recio-Vazquez L., Crespo-Feo E., Gonzalez-Martin R., Tormo L. Influence of accumulation of heaps of steel slag on the environment: determination of heavy metals content in the soils // Annals of the Brazilian Academy of Sciences. — 2010. — N 82 (2). — P. 267–277.
19. Бейзель Н.Ф. Атомно-абсорбционная спектрометрия: Учеб. пособие. — Новосибирск: Изд-во Новосиб. ун-та, 2008. — 72 с.
20. Гаврилова А.С., Чебуркова В.Д., Перестюк Л.Н. Методическое пособие по расчету выбросов от неорганизованных источников промышленности строительных материалов. — Новороссийск: НПО «Союзстромэкология», 1989. — 27 с.
21. Про затвердження нормативів граничнодопустимих викидів забруднюючих речовин із стаціонарних джерел [Електронний ресурс]. — http://search.ligazakon.ua/1_doc2.nsf/link1/RE12786.html (дата обращения 26.02.2018).

Поступила в редакцию 22.05.2018

После доработки 09.11.2018

Принята к публикации 25.12.2019