

УДК 504.064.4

## ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

МАКАРОВА В. Н., к. т. н.

Кафедра экологии и охраны окружающей среды, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, Днепр, 49600, Украина, тел. +38 (0562) 46-93-71, e-mail: [boyikova@mail.ru](mailto:boyikova@mail.ru), ORCID ID: 0000-0002-0575-2901

**Аннотация. Постановка проблемы.** Любые производственные процессы связаны с образованием отходов. Из года в год растущая масса отходов – один из главных факторов снижения качества окружающей среды и разрушения природных ландшафтов. Промышленное развитие неизбежно усиливает техногенную нагрузку на природную среду и нарушает экологический баланс [10]. Накопление отходов промышленного производства приводит к увеличению техногенной нагрузки на природные экосистемы. Одним из наиболее весомых показателей экологического благополучия региона является количество образования и накопления отходов. Эта проблема получила свое отражение в научной литературе [8; 10; 11]. По данному показателю Днепропетровская область является одним из лидеров, поскольку относится к промышленно развитому региону. **Цель статьи** – оценить влияние металлургического производства на окружающую среду и опасность его отходов, рассчитать экологическое совершенство химических процессов получения ферросплавов. **Вывод.** Промышленное производство ферросплавов представляет опасность для всех компонентов окружающей среды. Образование вторичных продуктов производства (отходов), а в дальнейшем их накопление загрязняет значительные территории. Проведена оценка экологического совершенства химических процессов по количеству образования отходов при производстве ферросплавов ПАО «Никопольский завод ферросплавов» (г. Никополь, Днепропетровская обл., Украина). Величина критерия  $K_{эк}$  свидетельствует об очень низкой степени экологичности, т. е. об образовании значительного количества отходов.

*Ключевые слова:* окружающая среда; металлургическое производство; шлак; шлаковый отвал; экологичность

## ОЦІНКА НЕБЕЗПЕКИ МЕТАЛУРГІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА

МАКАРОВА В. М., к. т. н.

Кафедра екології та охорони навколишнього середовища, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38 (0562) 46-93-71, e-mail: [boyikova@mail.ru](mailto:boyikova@mail.ru), ORCID ID: 0000-0002-0575-2901

**Анотація. Постановка проблеми.** Будь-які виробничі процеси пов'язані з утворенням відходів. Маса відходів, що з року в рік зростає, – один із головних факторів зниження якості навколишнього середовища і руйнування природних ландшафтів. Промисловий розвиток неминує підсилити техногенне навантаження на природне середовище та порушує екологічний баланс [10]. Накопичення відходів промислового виробництва збільшує техногенне навантаження на природні екосистеми. Один із найбільш вагомих показників екологічного благополуччя регіону – це кількість утворення та накопичення відходів. Ця проблема отримала своє відображення в науковій літературі [8; 10; 11]. За даним показником Дніпропетровська область посідає одне з перших місць, оскільки належить до промислово розвинутого регіону. **Мета статті** – оцінити вплив металургійного виробництва на навколишнє середовище і безпеку його відходів, розрахувати екологічну досконалість хімічних процесів одержання феросплавів, а також розглянути забруднення атмосферного повітря міського середовища в аспекті накопичення відходів на території підприємств, зокрема, шлакових відвалів металургійного виробництва. **Висновок.** Промислове виробництво феросплавів являє небезпеку для всіх компонентів навколишнього середовища. Утворення вторинних продуктів виробництва (відходів), а в подальшому їх накопичення забруднює значні території. Проведено оцінку екологічної досконалості хімічних процесів за кількістю утворення відходів у процесі виробництва феросплавів ПАТ «Нікопольський завод феросплавів» (м. Нікополь, Дніпропетровська обл., Україна). Величина критерію  $K_{ек}$  свідчить про дуже низький ступінь екологічності, тобто про утворення значної кількості відходів.

*Ключові слова:* навколишнє середовище; металургійне виробництво; шлак; шлаковий відвал; екологічність

## DANGER ASSESSMENT OF METALLURGICAL PRODUCTION

MAKAROVA V.N., *Cand. Sc. (Tech.)*

Department of Ecology and Environmental Protection, State Higher Education Establishment “Pridneprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture”, Chernyshevskogo str., 24-a, Dnipro, 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 46-93-71, e-mail: [boyikova@mail.ru](mailto:boyikova@mail.ru), ORCID ID: 0000-0002-0575-2901

**Abstract. Raising of problem.** Any manufacturing processes related to the generation of waste. Year after year, a growing mass of waste is one of the main factors reducing the quality of the environment and destruction of natural landscapes. Industrial development inevitably enhances human impacts on the environment and disrupts the ecological balance [10]. The accumulation of industrial waste leads to an increase of anthropogenic impact on natural ecosystems. **Purpose.** One of the most tangible indicators of ecological well-being of the region is the number of generation and accumulation of waste. This problem was reflected in the scientific literature [8; 10; 11]. According to this indicator, Dnipro region is in the lead, as relates to the industrialized regions. The purpose of this paper is to assess the impact of metallurgical production on the environment and the dangers of its waste to calculate the environmental excellence of chemical processes for production of ferroalloys. **Conclusion.** Industrial production of ferroalloys are danger to all components of the environment. The formation of secondary manufacturing products (waste), and further accumulation of pollutes large areas. The evaluation of the environmental excellence of chemical processes, the number of waste in the production of ferro-alloys of PJSC "Nikopol Ferroalloy Plant" (Nikopol, Dnipropetrovsk region, Ukraine). The value  $K_{ec}$  criterion indicates a very low degree of sustainability, i. e. the formation of large amounts of waste.

*Keywords:* environment; metallurgical production; slag; slag dump; environmental friendliness

### Постановка проблеми

В условиях научно-технического прогресса и активного процесса урбанизации происходит неуклонное наращивание искусственной среды проживания, которая заметно усложняется в крупных и крупнейших городах и вступает в своеобразное несоответствие с психофизиологическими характеристиками человека, увеличивает нагрузку на его биологическую сущность, затрудняет общение с природой и значительно влияет на качество жизни и состояние здоровья, которое является критерием оценки экологической безопасности искусственной экосистемы [1]. Накопление отходов промышленного производства приводит к увеличению техногенной нагрузки на природные экосистемы.

### Цель статьи

Одним из наиболее весомым показателем экологического благополучия региона является количество образования и накопления отходов. Эта проблема получила свое отражение в научной литературе [8; 10; 11]. По данному показателю Днепропетровская область находится в лидерах, поскольку относится к промышленно развитым регионам.

Цель статьи состоит в том, чтобы провести оценку влияния металлургического производства на окружающую среду и опасности его отходов, рассчитать экологическое совершенство химических процессов получения ферросплавов.

### Изложение основного материала

В природной среде наблюдается миграция загрязняющих веществ: поверхность почвы – атмосфера (выветривание, перенос пыли), атмосфера – атмосфера (перенос загрязнителей в атмосфере), атмосфера – поверхность земли (осаждение атмосферных загрязнителей), поверхность почвы – поверхность почвы (проникновение загрязнителей на разные глубины) [15].

Поступление металлов в окружающую среду (ОС) от техногенных источников осуществляется посредством их рассеивания во всех средах экосистем (почве, воздухе, воде). Особенно опасно

загрязнение ОС тяжелыми металлами, поскольку они включаются в природный круговорот веществ. В последнее время все чаще выявляют очаги аномально высоких концентраций тяжелых металлов (ТМ). Изменение концентрации металлов в ОС может происходить как естественным путем (перераспределение между поверхностью суши, водой, атмосферой), так и искусственно – привнесение в результате человеческой деятельности (аккумуляция в почве, возникновение геохимических аномалий с последующим распределением и усвоением металлов растениями, животными и микроорганизмами). Искусственные источники поступления ТМ в ОС весьма разнообразны. Важнейшими из них можно считать предприятия черной и цветной металлургии [7].

Основные пути поступления их в ОС связаны с выбросами промышленных предприятий от организованных и неорганизованных источников (выбросы при пересыпке материалов, пылевых выбросов с территории шлаковых отвалов и последующем их осаждении на почвенный покров преимущественно в виде оксидов или солей). Соли постепенно растворяются, переходя в гидроксиды, карбонаты [6]. Непосредственными объектами загрязнения служат атмосфера, вода, почва. Всякое загрязнение, как правило, не всегда ощущается сразу и часто имеет скрытый характер, причем это может быть и необязательно прямой выброс в природную среду вредных веществ, ведь опасным для любой экологической системы является появление в ней не свойственных ей веществ [13]. На основании изученной литературы [4; 11; 14] влияние производства ферросплавов можно представить схематически (рис. 1).

Отдельно можно выделить влияние отвалов ферросплавных шлаков (рис. 2). Влияние ферросплавного производства на первом этапе (добыча марганцевой руды) за счет нарушения поверхности земли создает впечатление максимального воздействия на ОС (рис. 1) по сравнению с другими этапами. Однако при добыче марганцевой руды влияние происходит в основном за счет механического воздействия. Если рассмотреть отдельно последний этап производства ферросиликомарганца, то здесь к механическому воздействию добавляется еще значительное

химическое загрязнение, основанное на влиянии продуктов высокотемпературного технологического процесса на ОС.



Рис. 1. Влияние производства ферросплавов на ОС / Fig. 1. The influence of ferroalloy production has on the environment

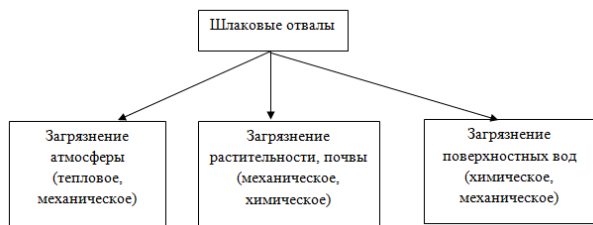


Рис. 2. Влияние шлаковых отвалов ферросплавного производства (ферросиликомарганца) на ОС / Fig. 2. The impact of slag dumps of ferroalloy production (crops) on the environment

Экологическую опасность отходов можно определить с помощью сочетания множества факторов. Прежде всего, это физическое состояние и их химический состав [3].

Опасность отходов для ОС возрастает в тех случаях, когда отходы производства обладают свойствами, способствующими миграции компонентов в ОС (рис. 3) [5].

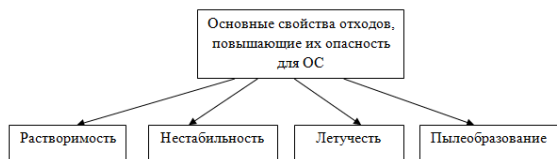


Рис. 3. Основные свойства отходов, повышающие их экологическую опасность / Fig. 3. Basic properties of waste, enhance their environmental hazard

Из существующих в мировой практике методов оценки опасности промышленных отходов одним из самых удобных является метод, разработанный Environmental Protection Agency (EPA) [5], позволяющий определить наиболее рациональный способ обращения с отходами.

Основную идею этого метода можно представить в виде схемы. На основании ранее предложенной [5] была разработана схема, на которой представлен ряд вопросов. Положительный ответ хотя бы на один из

них укажет на то, что шлак производства ферросиликомарганца относится к опасным отходам (рис. 4).

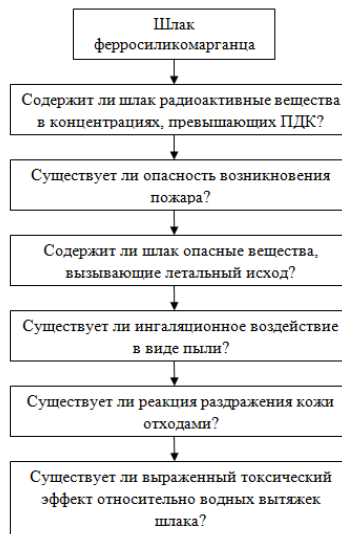


Рис. 4. Схема оценки опасности отходов в рамках классификационной модели / Fig. 4. The scheme of assessment of hazard of waste in the classification model

При оценке опасности отходов, в составе которых присутствуют ТМ, особое внимание стоит уделить наличию ингаляционного воздействия (в виде пыли) и токсических эффектов относительно водных вытяжек, поскольку таким образом происходит не только воздействие отходов на человека, но и миграция ТМ, а, следовательно, и загрязнение ОС тяжелыми металлами.

Как известно, каждое вещество имеет вполне индивидуальные физико-химические и биологические свойства, обуславливающие механизмы и направления его взаимодействия с другими веществами. Таким образом, определяющими компонентами экологической безопасности в общем смысле следует считать физическую, химическую и биологическую безопасность каждого вещества, поступающего в ОС, по его влиянию на нее.

Для отходов, которые, как правило, являются сложными смесями различных веществ, главными признаками безопасности (опасности) для ОС и человека должна быть их токсикологическая (химическая), радиационная и биологическая безопасность (опасность). Именно сочетание этих характерных особенностей, которые зависят напрямую от происхождения отходов, позволяет всесторонне оценить их интегральную экологическую безопасность или, наоборот, опасность [2].

Традиционные подходы определяют потенциальную опасность промышленных или бытовых отходов как классы их опасности согласно ДСанПиН 2.2.7.029-99 «Гигиенические требования по обращению с промышленными отходами и определению их класса опасности для здоровья

Таблиця 2

**Классификация опасности отходов по ПДК химических веществ в почвах / The hazard classification of waste allowable concentrations of chemicals in soils**

Величина $K_{\Sigma}$ , определенная по ПДК химических веществ в почвах	Класс опасности	Степень токсичности
меньше 2	I	Чрезвычайно опасные
от 2,1 до 16	II	Высокоопасные
от 16,1 до 30	III	Умеренно опасные
от 30,1 и более	IV	Малоопасные

населения» путем расчетов индексов токсичности ( $K_i$ ) каждого химического элемента или отдельного вещества.

Принимая во внимание, что значительная часть образуемых и накапливаемых отходов имеет прямой контакт с различными объектами ОС, при расчетах  $K_i$  учитывают ПДК каждого токсичного компонента конкретного отхода, его потенциальную летальную дозу (по значениям логарифма ЛД<sub>50</sub>) и ПДК этого компонента, установленного для почвы, воды, растений [2].

Индекс токсичности определяется по формуле:

$$K_i = \frac{ПДК_i}{(S + 0,1F + C_e)_i}, \quad (1)$$

где ПДК<sub>i</sub> – предельно допустимая концентрация химического вещества в почве, которое содержится в отходах;  $F$  – коэффициент летучести химического ингредиента;  $S$  – коэффициент, выражающий растворимость в воде;  $C$  – содержание данного компонента в общей массе отходов в т/т;  $i$  – порядковый номер данного компонента.

При условии, что:

$$K_{Co} < K_{Ni} < K_{Zn}, \quad (2)$$

$$2K_{Co} > K_{Zn} \quad (3).$$

Оба условия выполняются, поэтому:

$$K_{\Sigma} = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n K_i \quad (4).$$

Соответственно, расчет суммарного индекса токсичности следующий:

$$K_{\Sigma} = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n K_i = \frac{1}{n^2} \sum K_{Co} + K_{Ni} + K_{Zn} = \frac{1}{3^2} \sum 85 + 100 + 150 = 37,2 > 30$$

На основании полученного значения суммарного индекса токсичности (табл. 1) с помощью таблицы 2 определяют класс опасности отходов на основании ПДК химических веществ в почвах [9].

Таблица 1

**Определение суммарного индекса токсичности / Determination of total toxicity index**

Элемент	Co	Ni	Zn
Индекс токсичности	85	100	150
Суммарный индекс токсичности ( $K_{\Sigma}$ )	37,2		

Как следует из таблицы 2, при  $K_{\Sigma} = 37,2$  шлак производства ферросиликомарганца по показателям химической токсичности согласно ДСанПиН 2.2.7.029-99 относится к малоопасным отходам – IV класс опасности для здоровья населения.

Любой технологический процесс связан с образованием отходов. Оценить экологическое совершенство химических процессов можно по методике В. Т. Медведева (2002), в которой критерий экологичности  $K_{эк}$  предлагается считать по формуле [5]:

$$K_{эк} = \sum m_i^{жк} \frac{C_i^{жк}}{ПДК_i^{жк}} + \sum m_i^c \frac{C_i^c}{ПДК_i^c} + \sum m_i^T \frac{C_i^T}{ПДК_i^{жк}}, \quad (5)$$

где  $m_i^{жк}$ ,  $m_i^c$ ,  $m_i^T$  – количество  $i$ -го токсичного компонента жидких, газообразных и твердых отходов соответственно;  $C_i^{жк}$ ,  $C_i^c$ ,  $C_i^T$  – концентрация  $i$ -го компонента в жидких, твердых, мг/дм<sup>3</sup>, газообразных, мг/м<sup>3</sup> отходах; для расчета использовали данные В. И. Большакова (2011) по плотности шлака ферросиликомарганца [16];  $ПДК_i^{жк}$  – предельно допустимая концентрация  $i$ -го компонента в воде рыбохозяйственных водоемов, мг/дм<sup>3</sup> [12];  $ПДК_i^c$  – предельно допустимая концентрация  $i$ -го компонента в воздухе населенных мест, мг/м<sup>3</sup>.

Для оценки токсичности твердых отходов предполагается использование  $ПДК_i^{жк}$ , так как при хранении твердых отходов возможно их растворение в атмосферных осадках, сточных и грунтовых водах [5].

Количество  $i$ -го токсичного компонента в твердых отходах рассчитывается:

$$m_i^T = \frac{T_T \cdot \Gamma_T}{P \cdot 100}, \quad (6)$$

где  $T_T$  – количество твердых отходов, т/год;  $\Gamma_T$  – содержание  $i$ -го токсичного компонента (элемента) в твердых отходах, %;  $P$  – количество выпускаемой продукции, т/год.

В идеале, т. е. при безотходной технологии, коэффициент  $K_{эж}$  равен нулю.

Предложенный критерий имеет четкую экологическую значимость, так как его показатель зависит от количества отходов и от их токсичности, определяющих воздействие технологического процесса на окружающую среду [5].

Традиционные подходы к оценке влияния металлургического производства на ОС основывались на определении кратности шлака и класса опасности ферросплавных шлаков для здоровья населения. Каждый из данных подходов позволяет рассчитать потенциальную опасность шлаков для ОС, однако они не имеют четкой взаимосвязи друг с другом. Величина одного из этих показателей не позволяет судить о размере другого.

Предложенный критерий экологичности, с точки зрения совершенства химических процессов, позволяет оценить совершенство технологии, а, следовательно, и потенциальную опасность технологического процесса для ОС с учетом таких показателей как годовое образование отходов, содержание в них токсичных компонентов, предельно допустимая концентрация данных компонентов в воде рыбохозяйственных водоемов.

Расчет химического совершенства технологии получения ферросплавов велся из расчета количества образования шлаков, т. е. твердых отходов.

Годовая масса отходов, которые поступают на отвал, принималась исходя из объема образования марганецсодержащих шлаков ПАО «Никопольский

завод ферросплавов». Эта величина отходов принималась по данным предприятия и составила 730 000 т. Количество выпускаемой продукции за тот же период, по заводским данным, было принято для расчета в размере 704 600 т.

С помощью представленных данных расчетным путем по формулам (5) и (6) получен критерий экологичности:  $K_{эж} = 660,6$ .

Следовательно, производство ферросилико-марганца с точки зрения образования отходов обладает очень низкой степенью экологичности ( $K_{эж} = 660,6$ ), т. е. характеризуется образованием большого количества отходов со значительным количеством токсичных компонентов в их составе.

### Вывод

Промышленное производство ферросплавов представляет опасность для всех компонентов окружающей среды. Образование вторичных продуктов производства (отходов), а в дальнейшем их накопление загрязняет значительные территории.

Проведена оценка экологического совершенства химических процессов по количеству образования отходов при производстве ферросплавов ПАО «Никопольский завод ферросплавов» (г. Никополь, Днепропетровская обл., Украина). Величина критерия  $K_{эж} = 660,6$  свидетельствует об очень низкой степени экологичности, т. е. образовании значительного количества отходов.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Система оценки экологической безопасности строительства : монография / А. Л. Большеротов. – Москва : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2010. – 216 с.
2. Відходи виробництва і споживання та їх вплив на ґрунти і природні води : навч. посіб. / [В. М. Савицький, В. К. Хільчевський, О. В. Чунарьов, М. В. Яцюк]. – Київ : Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2007. – 152 с.
3. Зайцев А. К. Экология и ресурсосбережение в черной металлургии / А. К. Зайцев, Ю. В. Похвиснев // Соросовский Образовательный Журнал. – 2001. – Том 7, № 3. – С. 52–58.
4. Промышленная экология. Экологические проблемы основных производств : учеб. пособ. / [В. А. Зайцев, Н. А. Крылова]. – Москва : РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2002. – 175 с.
5. Инженерная экология : учебник / Под ред. проф. В. Т. Медведева. – Москва : Гардарики, 2002. – 687 с.
6. Микроэлементы в почвах и растениях : монография / [А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас]. – Москва : Мир, 1989. – 439 с.
7. Кошелева Н. Е. Прогнозная модель миграции тяжелых металлов в агроландшафтах / Н. Е. Кошелева // Тяжелые металлы в окружающей среде : тез. докл. междунар. симпоз. – Пушино, 1996. – С. 146–147.
8. Макаров А. Б. Техногенно-минеральные месторождения и их экологическая роль / А. Б. Макаров, А. Г. Талалай // Литосфера. – 2012. – № 1. – С. 172–176.
9. Макарова В. Н. Определение потенциальной опасности промышленных отходов для окружающей природной среды / В. Н. Макарова // Неделя эколога – 2012 : доклады междунар. симпозиума (1–5 октября 2012 г.) // Мин-во образов. и науки, молодежи и спорта Украины, Днепродз. гос. техн. ун-т. – Днепродзержинск : ДДТУ, 2012. – С. 70–72.
10. Макарова В. Н. Утилизация техногенных отходов в промышленности строительных материалов / В. Н. Макарова, Л. С. Савин // Екологічний інтелект – 2011 : зб. наук. праць за матеріалами VI міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених (19–20 травня 2011 р.) // Мін-во освіти і науки України, Дніпропетр. націон. ун-т заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна [та ін.]. – Дніпропетровськ : ДНУЗТ, 2011. – С. 165–166.
11. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении : учеб. пособ. / [Д. С. Орлов, Л. К. Садовникова, И. Н. Лозановская]. – Москва : Высшая школа, 2002. – 334 с.
12. Обобщенный перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды рыбохозяйственного водопользования / Мин-во рыбного хозяйства СССР. – Москва : Главрыбвод, 1990. – 46 с.

13. Павлов А. Н. Экология : рациональное природопользование и безопасность жизнедеятельности : учебник / А. Н. Павлов. – Москва : Высшая школа, 2005. – 343 с.
14. Переработка шлаков и безотходная технология в металлургии : монография / [М. И. Панфилов, Я. Ш. Школьник, Н. В. Орининский]. – Москва : Металлургия, 1987. – 238 с.
15. Введение в экологическую химию : учеб. пособ. / [Ю. И. Скурлатов, Г. Г. Дука, А. Мизити]. – Москва : Высшая школа, 1994. – 400 с.
16. Большаков В. И. Углеродотермия шлаков силикомарганца и пути их применения / В. И. Большаков, В. С. Куцин, В. А. Неведомский [и др.] // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – 2011. – № 5. – С. 4–8.

## REFERENCES

1. Bolsherotov A.L. *Sistema otsenki ekologicheskoy bezopasnosti stroitelstva* [The evaluation system of ecological safety of construction]. Moscow : Izdatelstvo assotsiatsii stroitel'nyh vuzov, 2010, 216 p. (in Russian).
2. Savic'kij V.M., Hil'chevskij V.K., Chunar'ov O.V. and Yacyuk M.V. *Vidhodi virobnictva i spozhivannya ta ih vpliv na trunti i prirodni vodi* [Waste production and consumption and their impact on soil and natural waters]. Kyiv : Vidavnicho-poligrafichnij centr "Kiiv'skij universitet", 2007, 152 p. (in Ukrainian).
3. Zajcev A.K. and Pohvisnev Yu.V. *Ehkologiya i resursoberezenie v chernoj metallurgii* [Environmental and resource in the steel industry]. Sorosovskij Obrazovatel'nyj Zhurnal, 2001, vol. 7, no. 3, pp. 52–58 (in Russian).
4. Zajcev V.A. and Krylova N.A. *Promyshlennaya ehkologiya. Ehkologicheskie problemy osnovnyh proizvodstv* [Industrial Ecology. Ecological problems of basic industries]. Moscow : RChTU im. D.I. Mendeleeva, 2002, 175 p. (in Russian).
5. *Inzhenernaya ehkologiya* [Environmental Engineering] Edited by prof. Medvedev V.T. Moscow : Gardariki Publ., 2002, 687 p. (in Russian).
6. Kabata-Pendias A. *Mikroehlementy v pochvah i rasteniyah* [Trace elements in soils and plants]. Moscow : Mir Publ., 1989, 439 p. (in Russian).
7. Kosheleva N.E. *Prognoznaya model' migracii tyazhelyh metallov v agrolandshaftah* [Forecast model of migration of heavy metals in agricultural landscapes]. *Tyazhelye metally v okruzhayushchej srede: tez. dokl. Mezhdunarod. Simpoz. Pushchino* [Heavy metals in the environment : abstracts of the international Symposium]. Pushchino, 1996, pp. 146–147. (in Russian).
8. Makarov A.B. and Talalaj A.G. *Tekhnogenno-mineral'nye mestorozhdeniya i ih ehkologicheskaya rol'* [Technogenic mineral deposits and their ecological role]. *Litosfera* [Lithosphere]. 2012, no. 1, pp. 172–176. (in Russian).
9. Makarova V.N. *Opreделение potencial'noj opasnosti promyshlennyh othodov dlya okruzhayushchej prirodnoj sredy* [Determination of the potential danger of industrial waste for the environment]. *Nedelya ehkologa–2012 : doklady mezhdunar. simpoziuma, 1–5 oktyabrya 2012 g.* [Week of ecology–2012 : reports of Intern. Symposium (1–5 October 2012)]. The Ministry of education and science, youth and sports of Ukraine, Dneprodzerzhinsk state technical University, Dniprodzerzhynsk : DTU, 2012, pp. 70–72. (in Russian).
10. Makarova V.N. and Savin L.S. *Utilizaciya tekhnogenykh othodov v promyshlennosti stroitel'nyh materialov* [Utilization of technogenic waste in the building materials industry]. *Ekologichnij intelekt–2011 : zb. nauk. prac' za materialami VI mizhnar. nauk.-prakt. konf. molodih vchenih, 19–20 travnya 2011 rik* [Ecological intelligence–2011 : Coll. of Sciences. proceedings of the VI Intern. sciences.-pract. conf. young scientists (19–20 may 2011)]. Ministry of education and science of Ukraine, Ministry of education and science of Ukraine, Dnipropetrovsk national University of railway transport. academician V. Lazaryan and others, Dnepropetrovsk : DOIT, 2011, pp. 165–166. (in Russian).
11. Orlov D.S., Sadovnikova L.K. and Lozanovskaya I.N. *Ehkologiya i ohrana biosfery pri himicheskoy zagryaznenii* [Ecology and protection of the biosphere with chemical pollution]. Moscow : Vysshaya Shkola Publ., 2002, 334 p. (in Russian).
12. *Obobshchennyj perechen' predel'no dopustimyh koncentracij (PDK) i orientirovochno bezopasnykh urovnej vozdeystviya (OBUV) vrednykh veshchestv dlya vody rybohozyajstvennogo vodopol'zovaniya* [Generalized list of maximum permissible concentration (MPC) and the estimated exposure levels Safety (TSEL) of pollutants to water the water fisheries]. Moscow : Ministry of fisheries of the USSR, Glavrybvod, 1990, 46 p. (in Russian).
13. Pavlov A.N. *Ehkologiya: racional'noe prirodopol'zovanie i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti vodopol'zovaniya* [Ecology: environmental management and life safety]. Moscow : Vysshaya Shkola Publ., 2005, 343 p. (in Russian).
14. Skurlatov Yu.I., Duka G.G. and Miziti A. *Vvedenie v ehkologicheskuyu himiyu* [Introduction to environmental chemistry]. Moscow : Vysshaya Shkola Publ., 1994, 400 p. (in Russian).
15. Bol'shakov V.I., Kutsyn V.S., Nevedomskij V.A. and oth. *Uglerodotermiya shlakov silikomarganca i puti ih primeneniya* [Carbon Thermia silicomanganese slag and ways of their application]. *Visnik Pridniprov's'koї derzhavnoї akademii budivnictva ta arhitekturi* [Bulletin of Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture]. 2011, no. 5, pp. 4–8. (in Russian).

*Статья рекомендована к публикации д-ром техн. наук, проф. В. Ф. Иродовым (Украина); д-ром техн. наук, проф. С. З. Полищуком (Украина).*

Поступила в редколлегию 03.11.2016 г.

Принята в печать 08.11.2016 г.