

2. Haizhi Ye. An Overview of the Development of Al-Si-Alloy Based Material for Engine Applications. JMEPEG (2003) 12:288-297.

3. Mbuya T.O., Odera B.O., Ng'ang'a S.P. Influence of iron on castability and properties of Aluminium silicon alloys: literature review. International Journal of Cast Metals Research. (2003) 16:5, 451-465.

4. Tanski T., Labisz K., Krupinska B., Krupinski M., Krol M., Maniara R., Borek W. Analysis of crystallization kinetics of cast aluminum–silicon alloy. J. Therm. Anal. Calorim. (2016) 123:63-74.

5. Yu-Mi Kim, Da-Som Kang, Sung-Kil Hong, Young-Chan Kim, Chang-Seog Kang, Se-Weon Choi. Influence of variation in the silicon content on the silicon precipitation in the Al–Si binary system. J. Therm. Anal. Calorim. (2016) 123:63-74.

УДК 669.168

**А. А. Журавлев, Р. Р. Гасанов**

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

## **ТЕХНОГЕННЫЕ ОТХОДЫ И ЗАТРАТЫ НА ОХРАНУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ РФ**

### **Аннотация**

*В работе рассматриваются основные источники загрязнения окружающей среды выбросами различных металлургических предприятий: коксохимических, агломерационных, доменных, ферросплавных, сталеплавильных и их влияние на состояние окружающей среды в РФ.*

**Ключевые слова:** *Окружающая среда, загрязнение, шлак, металл, металлургические предприятия, коксохимические, агломерационные, доменные, сталеплавильные, ферросплавные, влияние, защита.*

### **Abstract**

*The paper deals with the main sources of environmental pollution emissions of various metallurgical enterprises: coke, agglomeration, blast furnace, Ferroalloy, steelmaking and their impact on the environment in the Russian Federation.*

**Key words:** *environmental pollution, metallurgical enterprises, slag, metal, coke, agglomeration, blast furnace, ferroalloy, steelmaking, influence, protection.*

Черная металлургия – отрасль тяжелой промышленности, которая включает в себя производство чугуна, стали, проката, ферросплавов, а также добычу и обогащение железной руды и производство огнеупоров. В структуру черной металлургии Российской Федерации входит более 1.5 тыс. предприятий, из которых более 70 являются градообразующими. В этой отрасли металлургической промышленности занято 2/3 работников российской металлургии. Из подготовленного бюллетеня Росстата «Основные показатели охраны окружающей среды» следует, что на металлургию (черную и цветную) приходится примерно треть всех промышленных выбросов в атмосферу, в то время как продукция предприятий металлургических предприятий составляет лишь 17 % от общего объема промпроизводства. В

России выделяют три основных базы черной металлургии: Уральскую, Центральную и Сибирскую. Металлургические процессы, производства чугуна, стали и их последующего передела, сопровождаются образованием больших количеств отходов в виде вредных газов и пыли, шлаков, шламов, сточных вод, содержащих различные химические компоненты, скрапа, окалины, боя огнеупоров, мусора и других выбросов, которые загрязняют атмосферу, воду и поверхность земли. На рис. 1, по данным Росстата [1], приведено изменение роста объемов отходов производства в РФ в млн. т с 2005 по 2015 г.



Рис. 1. Образование отходов экономической деятельности в РФ с 2005 по 2015 гг.

Как следует из рис. 1, количество отходов экономической деятельности в стране растет от года к году. Учитывая это, увеличиваются и общие затраты на охрану окружающей среды как в абсолютных значениях, так и в процентном соотношении рис. 2 (данные Росстата [1]).



Рис. 2. Затраты на обращение и отходами в РФ по данным Росстата за последние 5 лет по данным Росстата

Начиная с 1995 г. в РФ растет производство чугуна, стали, ферросплавов, металлопродукции, а это, несомненно, ведет как к росту загрязнения окружающей среды, так и соответственно к увеличению затрат на охрану окружающей среды в стране (рис. 3 и 4, по данным Росстата РФ [1]).



Рис. 3. Изменение производства стали в РФ 1995–2017 гг.



Рис. 4. Образование отходов металлургического производства в период с 2005 по 2011 гг.

Основными источниками загрязнения атмосферы выбросами металлургических предприятий являются коксохимическое, агломерационное, доменное, ферросплавное и сталеплавильное производства. На долю предприятий черной металлургии приходится 15–20 % общих загрязнений атмосферы промышленностью, что составляет более 10,3 млн. т вредных веществ в год, а в районах расположения крупных металлургических комбинатов – до 50 %.

В среднем на 1 млн. т годовой продукции заводов черной металлургии выделение составляет, т/сутки: пыли – 350, сернистого ангидрида – 200, оксида углерода – 400, оксидов азота – 42 [2].

*Коксохимическое производство* загрязняет атмосферу окислами углерода и серы. На 1 т перерабатываемого угля выделяется около 0,75 кг SO<sub>2</sub> и по 0,03 кг различных углеводородов и аммиака. Кроме газов, коксохимическое производство выделяет в атмосферу большое количество пыли. Имеются данные, что при производстве кокса на 1 т перерабатываемого угля выделяется около 3 кг угольной пыли. Также большое количество пыли выделяется при разгрузке и перегрузке угля, в среднем 0,005 % от массы угля.

На *аглофабриках* источниками загрязнения воздуха являются аглоленты, барабанные и чашевые охладители агломерата, обжиговые печи, узлы пересыпки и сортировки агломерата и других компонентов шихты. Количество агломерационных газов 2,5–4,0 тыс. м<sup>3</sup> /т полученного агломерата с содержанием в них пыли от 5 до 10 г/м<sup>3</sup>. В состав газов входят оксиды серы и углерода, а пыль содержит железо и его оксиды, оксиды марганца, магния, фосфора, кремния, кальция, иногда частицы титана, меди, свинца.

*Доменное производство* характеризуется выделением большого количества доменного газа ( $\approx 2\text{--}4$  тыс. м<sup>3</sup> /т чугуна). Этот газ содержит оксиды углерода и серы, водород, азот, некоторые другие газы и большое количество колошниковой пыли (до 150 кг/т чугуна). Пыль содержит окислы железа, кремния, марганца, кальция, магния, частицы шихтовых материалов.

Основные источники загрязнения воздуха при *производстве ферросплавов* – электродуговые печи. Выбросы этих печей состоят из нетоксичной и токсичной пыли (окислы железа, меди, цинка, свинца, хрома, кремния, газы). В зависимости от вида выплавляемого сплава и мощности печей суммарное количество пыли, образующейся в результате технологических процессов, может составлять сотни тонн в сутки. При этом Cr<sup>+6</sup> и пыль обнаруживают на расстоянии до 3 км от источника загрязнения. Заводы, выплавляющие ферросилиций, загрязняют атмосферный воздух в радиусе 2–3 км мельчайшими частицами SiO<sub>2</sub>, наибольшее содержание которых наблюдается на расстоянии около 0,5 км от предприятия. Промвыбросы феррованадиевого производства загрязняют атмосферу пылью, окислами ванадия, хлористого водорода на расстоянии до 2 км от завода.

При *производстве чугуна и стали* количество вредных выбросов также зависит от вида плавильного агрегата. Так, при производстве чугуна в *литейном производстве*, наибольшее количество выбросов зарегистрировано при использовании вагранок (количество газов достигает 1 тыс. м<sup>3</sup> /т чугуна). В них содержится 3–20 г/м<sup>3</sup> пыли, 5–20 % CO<sub>2</sub>, 5–17 % CO, до 05 % SO<sub>2</sub>. Основной составляющей пыли является кремнезем – до 45 %. В электродуговых печах на каждую тонну жидкой стали образуется 10–20 кг пыли из соединений железа, марганца, алюминия, кремния, магния, хлора, хрома и фосфора. Для сравнения, при плавке в индукционных печах образующихся пыли и газов в 5 раз меньше. Большое количество вредных выбросов образуется и при подготовительных работах, и при последующей обработке металла. При выпуске чугуна из вагранки, например, в заливочные ковши на

1 т выделяется до 20 г графитовой пыли и до 130 г СО<sub>2</sub>, сульфитного щелока, углеводородов и ряда др. органических примесей. В литейных цехах при изготовлении форм и стержней в воздушную среду выделяются токсичные парогазовые смеси, содержащие фенол, формальдегид, фуриловый и метиловый спирты, аммиак, бензол, пары серной кислоты. В отделении обрубки и очистки литья образуются значительные количества металлической пыли. В прокатном производстве пыли и газов образуется в меньших количествах, по сравнению с другими производствами черной металлургии, но все же – примерно 2–18 г/т при различных видах работ. По статистике, загрязнение окружающей среды вокруг предприятий черной металлургии в зависимости от господствующих ветров ощущается в радиусе 20–50 км. На 1 квадратный метр этой территории выпадает 5–15 кг/сутки пыли. Вокруг металлургических предприятий образуются техногенные зоны, во всех поверхностных образованиях (почве, снеге, воде, растительности) содержится широкий набор вредных веществ. Кроме того, металлургические предприятия занимают большие производственные площади и отвалы, что предполагает отчуждение земель. Концентрация вредных веществ в атмосфере и водной среде крупных металлургических центров значительно превышают нормы. Неблагоприятная экологическая обстановка наблюдается в таких металлургических городах России, как Липецк, Магнитогорск, Нижний Тагил, Новокузнецк, Челябинск, Череповец и др.

Черная металлургия – один из крупнейших потребителей воды. Водопотребление составляет 15–20 % от общего потребления воды промышленными предприятиями страны. Современное металлургическое предприятие на производство 1 т стального проката расходует 180–200 м<sup>3</sup> воды. На рис. 5 и 6 представлены текущие затраты на сбор и очистку сточных вод и на охрану атмосферного воздуха в РФ (данные Росстата [1]).



Рис. 5. Расходы на сбор и очистку сточных вод



Рис. 6. Затраты на охрану атмосферного воздуха

Суточный оборот воды на отдельных предприятиях достигает 3 млн. м<sup>3</sup> и более. Из этого количества около 48 % приходится на охлаждение оборудования, 26 % – на очистку газов, 12 % – обработку и отделку металла, 11 % – гидравлическую транспортировку и 3 % – на прочие нужды [2]. Безвозвратные потери, связанные с испарением и каплеуносом в системах оборотного водоснабжения, с приготовлением химически очищенной воды, с потерями в технологических процессах, составляют 6–8 %. Остальная вода в виде стоков возвращается в водоемы. Около 60–70 % сточных вод относятся к «условно-чистым» стокам, т.е. имеющим только повышенную температуру. Остальные сточные воды (30–40 %) загрязнены различными примесями и вредными соединениями. Наибольшее количество воды требуется в прокатном, доменном и сталеплавильном производствах (таблица). Расход воды по видам металлургического производства приведен в таблице 1 [2].

Таблица

Расход воды по видам металлургического производства

Вид производства	Продукция	Уд. расход воды на т/ продукции		Доля в общем удельном расходе воды, %
		всего	в т.ч. свежей	
Горнорудное	Руда	12	4,5	5,0
Агломерационное	Агломерат	7,5	0,6	3,1
Коксохимическое	Кокс	12,5	1,0	5,2
Доменное	Чугун	60	4,5	25
Сталеплавильное	Сталь	52	3,5	21,7
Прокатное	Прокат	96	5,5	40,0
Всего		240	20	100

Экспериментально обнаружено, что поступление в организм с питьевой водой таких элементов как мышьяк, селен, цинк, радий, палладий, иттрий приводит к возникновению злокачественных опухолей у теплокровных животных. Такое же действие оказывают при поступлении в организм другими путями – хром, бериллий, свинец, ртуть, кобальт, никель, тантал, уран и ряд других элементов. Кроме того,

кадмий, свинец, литий и галлий оказывают мутагенное действие. Многие неорганические соединения даже в малых концентрациях оказывают вредное воздействие на рыб и их кормовые ресурсы. Особенно опасно наличие неорганических соединений в питьевой воде. Разумеется, страдают от деятельности металлургических предприятий не только воздух и вода, но и почва. На рис. 7 приведены затраты на защиту и реабилитацию земель в РФ с 2012 по 2016 г. (данные Росстата). В металлургическом производстве, в частности в черной металлургии, образуется большое количество твердых отходов при технологических процессах. Под твердыми промышленными отходами понимаются остатки сырья, материалов, полуфабрикатов, образовавшихся при производстве продукции или при выполнении работ и утратившие полностью или частично потребительские свойства. Отходы складываются на больших площадях, которые занимают тысячи гектаров полезных земель. В них накоплено ~500 млн. т шлаков и ежегодно прибавляется примерно 80 млн. т. Шлакоотвалы в большинстве случаев оказывают пагубное воздействие на окружающую среду. Твердые отходы образуются практически на всех стадиях металлургического производства. По ориентировочным подсчетам [2], на получение 1 т стали используется 4,7 т сырья, из которых в твердые отходы уходит 0,406 т. На металлургических предприятиях образуется около 3 млн. т отходов, из них утилизируется всего 34 %. Основными источниками образования лома и отходов на металлургическом предприятии являются (таблица): доменное производство (1 %), сталеплавильное (5 %), прокатное (30 %), литейное (9 % от общего количества лома черных металлов). Образование металлоотходов по видам продукции, кг/т: при производстве чугуна – 7–10, стали – 35–40, проката – 280, стального литья – 530, чугунного литья – 350, стальных труб – 110–120, отливок чугунных труб – 170–200, поковок и штамповок – 175–180. Основную массу металлургических шлаков составляют доменные шлаки (при получении 1 т чугуна образуется 0,4–0,65 т шлака). В сталеплавильном производстве шлаков образуется в 2 раза меньше.



Рис. 7. Затраты на защиту и реабилитацию земель 2012–2016 гг. (по данным Росстата)

Все металлургические шлаки содержат, помимо железа, значительные количества соединений фосфора и СаО, а также другие элементы, используемые в сельском хозяйстве в качестве удобрений. До 1975 г. основная масса шлаков ( $\approx 87,6\%$ ) направлялась в отвалы.

Кроме шлаков ежегодно образуется около 1 млн. т шламов, которые содержат большое количество железа ( $\sim 50\%$ ), и  $\sim 110$  тыс. т пыли.

Как уже было сказано, твердые отходы занимают полезные площади. Из-за ветров происходит постоянное пыление отвалов, что приводит к загрязнению воздушного бассейна. Осадки (дожди, снег) выщелачивают из отвалов элементы и соединения, что приводит к заражению почвы. В итоге, даже освобожденные из-под отвалов земли становятся непригодными для сельскохозяйственного использования, образуются так называемые «индустриальные пустыни».

Таким образом, техногенные отходы, накопленные в России за многие десятилетия, с одной стороны, представляют резервную материальную базу (неиспользуемую должным образом), а с другой стороны – очевидный источник экологического неблагополучия. Современная экологическая идеология в нашей стране предусматривает предупреждение экологических нарушений, а не нейтрализацию их последствий. Эта идеология инновационного развития представляется актуальным и продуктивным направлением консолидации усилий науки, бизнеса и власти в целях сбережения народа и сбалансированного развития недропользования и новых территорий.

### Список использованных источников

1. База данных Росстата. Электронный ресурс. Режим доступа: [http://www.gks.ru/free\\_doc/new\\_site/oxrana/tab1/oxr\\_otxod1.htm](http://www.gks.ru/free_doc/new_site/oxrana/tab1/oxr_otxod1.htm).

2. Большина Е.П. Экология металлургического производства: курс лекций. Новотроицк: НФ НИТУ «МИСиС», 2012. – 155 с.

УДК 669.1.022; 622.7:669.1

**Л. А. Зайнуллин<sup>1,2</sup>, В. Г. Карелин<sup>1</sup>, А. Ю. Епишин<sup>1</sup>, Т. Белхайт<sup>3</sup>, Е. К. Курт<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ОАО «Научно-исследовательский институт металлургической теплотехники» (ОАО «ВНИИМТ»), г. Екатеринбург, Россия

<sup>2</sup> ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

<sup>3</sup> Societe Nationale du Fer et de l'Acier FERAAL Spa, directeur technique, Algeria

## ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНЕТИЗИРУЮЩЕГО ОБЖИГА ЖЕЛЕЗНОЙ РУДЫ ПЕРЕД ОБОГАЩЕНИЕМ И ДЕФОСФОРАЦИЕЙ

### Аннотация

*В мире достаточно много месторождений железной руды с повышенным (0,75 %) содержанием фосфора, что является препятствием для вовлечения их в производство. Исследование*