

*А.Л. Петелин, Ю.С. Юсфин, Д.И. Орелкина, К.В. Вишнякова*

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОПАСНОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ В ВОЗДУШНОМ ПРОСТРАНСТВЕ (В ПРИЗЕМНЫХ СЛОЯХ АТМОСФЕРЫ) ЗА ПРЕДЕЛАМИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЦЕНТРОВ

**Аннотация.** Проанализированы основные движущие силы процесса распространения газовых выбросов технологических предприятий в атмосфере. Выделены главные факторы, определяющие распространение вредных веществ на больших расстояниях от источников выбросов. Предложен общий подход прогнозирования пространственного распределения газовых выбросов металлургических предприятий на больших расстояниях, основанный на принципе максимальной опасности.

**Ключевые слова:** загрязнение атмосферы, газовые выбросы, металлургические выбросы, поле концентраций, роза ветров, химическая активность.

## PREDICTING THE RISK OF TRANSMISSION OF GAS EMISSIONS OF STEEL COMPANIES IN THE AIRSPACE (IN THE SURFACE LAYERS OF THE ATMOSPHERE) OUTSIDE THE INDUSTRIAL CENTERS

**Abstract.** The main driving forces behind a spreading process of gas emissions from technological companies into the atmosphere have been analyzed. The main factors determining a spread of harmful substances at long distances from emission sources have been highlighted. The general approach to forecasting the spatial distribution of metallurgical enterprises gas emissions at large distances based on the principle of maximum danger has been proposed.

**Keywords:** air pollution, gas emissions, metallurgical emissions, concentration field, wind rose, reactivity.

Проблема загрязнения атмосферы промышленными газовыми выбросами не теряет своей остроты в течение более чем столетие. Связано это с тем, что промышленность все это время продолжает расти, а значит, растет и количество выбросов, которые являются побочными продуктами технологических процессов. Среда, куда поступают газообразные вещества, содержащиеся в выбросах, это атмосферный воздух, которым мы дышим. Объем этой среды (объем атмосферы) остается постоянным в течение уже нескольких сотен миллионов лет, а объем выбросов возрастает. Как распределяются в пространстве, во что превращаются, где накапливаются отдельные компоненты (химические вещества) выбросов – эти вопросы должны тщательно контролироваться. Например, до сих пор не ясно, какие расстояния являются безопасными при увеличении количества газовых выбросов и при современных тенденциях к быстротечным изменениям климата. Особенно, когда речь идет об особенно вредных (высокотоксичных) газообразных веществах, чье присутствие в составе газовых выбросов не вызывает сомнения.

Проблема распространения газовых выбросов в воздушной среде имеет важное значение для металлургической отрасли. Известно, что количество газовых выбросов крупных металлургических предприятий в

промышленных центрах может быть весьма значительной. Так в Липецкой области в 2007 г. общий объем выбросов в атмосферу одного только Новолипецкого металлургического комбината (НЛМК) составил 80,6 % от выбросов всех стационарных источников. Причем доля выбросов особо вредных веществ по отношению к их общему количеству в области также была достаточно велика и составляла 58,6 % [1]. Поэтому анализ процессов распространения газовых выбросов металлургического происхождения с целью прогнозирования их опасного влияния на территории, окружающие промышленные центры, представляет собой важную задачу, решение которой до настоящего времени еще не имеется.

Далее предлагается общий подход, позволяющий делать обоснованные прогнозы о пространственном распределении компонентов газовых выбросов металлургических предприятий на расстояниях, в десятки раз превышающих размеры самих предприятий. Поскольку металлургические комбинаты имеют непрерывный цикл производства и устойчивую в течение продолжительных периодов времени производительность, принято считать их стационарными источниками газовых выбросов. Поэтому будем рассматривать процессы, происходящие при распространении газовых

выбросов от стационарных источников. При стационарном, независящем от времени поступлении в атмосферу газообразных веществ, содержащихся в выбросах производства, в окружающем воздушном пространстве формируется стационарное распределение каждого из этих веществ, которое определяется их концентрацией в воздухе в зависимости от географических координат и от высоты над поверхностью земли, т.е. образуется пространственное поле концентраций газовых выбросов. Построение стационарного поля концентраций компонентов газовых выбросов по текущим исходным данным и является основной целью прогноза распространения газовых выбросов. Среди исходных данных основным является образующий фактор – количество выбросов данного ( $i$ -го) компонента в единицу времени – мощность выброса  $m_i$ . Каждый компонент газовых выбросов имеет свою собственную мощность выброса, следовательно для полной характеристики распространения газовых выбросов необходимо построить столько полей концентрации, сколько компонентов содержат выбросы.

В каждой точке стационарного поля концентрации (для любого компонента выбросов) существует баланс вещества – сколько его поступает в данное место, столько же и уходит. Можно сказать иначе – в каждой точке концентрация вещества (компонента выброса) в силу одних причин (назовем их факторами роста) увеличивается и в силу других причин (факторов падения) уменьшается. Факторами роста являются процессы переноса, за счет которых вещество поступает в данную точку от источника выбросов. Во-первых, это процессы, определяющиеся географическими (климатическими, погодными) особенностями региона, например ветровой перенос, перенос, связанный с движением фронта циклона, вихревой перенос (торнадо, смерч) и т.д. Во-вторых, это процессы физического типа, диффузионные процессы, которые слабо зависят от быстро меняющихся атмосферных явлений. Факторы падения также связаны с процессами переноса, которые выносят вещество компонента выброса из данной точки – те же воздушные потоки разной направленности в зависимости от атмосферных условий, те же диффузионные процессы, стремящиеся выровнять концентрацию компонента выброса, снизить ее там, где она имеет большие значения. Кроме того, среди факторов падения есть еще один очень важный химический фактор, который зависит от химической природы каждого компонента выбросов – это химическая активность компонента в окружающей его воздушной среде, способность участия в химических процессах взаимодействия с веществами атмосферного воздуха. Любая химическая реакция с участием молекул компонента выброса приводит к снижению его концентрации. Компонент может участвовать одновременно в нескольких химических процессах, к которым кроме химических реакций следует причислить также адсорбцию молекул компо-

нента поверхностью пылевых частиц с последующим оседанием их на поверхность земли, растворение в атмосферных осадках и водоемах, поглощение (сорбция) компонента почвой, пористыми породами, растительным покровом (лес, трава). Суммарная скорость всех процессов, составляющих химический фактор и приводящих к снижению концентрации компонента выбросов, может быть представлена как эффективная константа скорости разложения (распада) данного ( $i$ -го) компонента в воздушной среде –  $k_i$ .

Таким образом, каждый компонент выбросов имеет свою специфическую картину пространственного распространения – свое поле концентраций, которое зависит от его химической активности в природной среде ( $k_i$ ) и от скорости его поступления в атмосферу (мощности выброса  $m_i$ ).

Рассмотрим общие характеристики, свойственные полям концентраций независимо от того, распределение какого компонента выбросов они описывают. Обозначим всю территорию, окружающую предприятия, в воздухе которой концентрация компонентов выбросов превышает фоновые атмосферные значения, зоной влияния предприятия. Разделим условно пространственную зону влияния газовых выбросов металлургических предприятий на две основные части. Первую назовем внутренней зоной влияния. Это территория самого предприятия и прилегающие районы в его непосредственной близости, где проживают люди, работающие на предприятии, находятся смежные производственные подразделения, транспортные узлы и другие службы, необходимые для бесперебойной работы металлургического комплекса. Вторую часть общей зоны влияния назовем внешней зоной влияния. В нее входит все остальное пространство в радиусе нескольких сотен километров от металлургического комбината, в котором атмосферный воздух может испытывать воздействие газовых выбросов металлургии, а значит, в какой-то степени изменять свой состав.

Для внутренней зоны влияния разработано несколько теоретических моделей, которые легли в основу практических систем, позволяющих рассчитывать концентрации компонентов выбросов в воздухе по заданным исходным данным в любой точке внутренней зоны, что означает получать поле концентраций компонентов выбросов для внутренней зоны влияния. В России наибольшее распространение получила расчетная система ОНД-86 [2]. Для малых расстояний от места выброса распределение концентраций выброшенных веществ в расчетной схеме связывается с мощностью выбросов, инфраструктурой предприятия и внешними атмосферными условиями. Рельеф земной поверхности, наличие зданий и продуваемых открытых коридоров, перепады температур внутри и снаружи цехов, скорость ветра и другие факторы приводят к неоднородности распределения компонентов газовых выбросов. Учесть большое количество таких частных факторов можно с исполь-

зованием эмпирических поправок, что и делается при анализе концентраций расчетной системой ОНД-86. В результате эта система надежно предсказывает поле концентраций выбросов во внутренней зоне влияния. С помощью ОНД-86 можно рассчитать максимальную концентрацию выбросов при средней скорости ветра в соответствии с розой ветров и температурными данными для данного региона, а также с использованием дополнительных подгоночных параметров. В европейских странах, США, Канаде и Японии также существуют аналогичные системы расчета концентраций газовых выбросов в воздухе вблизи промышленных предприятий, например, Гауссова модель [3]. Все эти методики (в том числе и ОНД-86) нельзя использовать для сценарных и прогнозных расчетов при конкретных метеорологических условиях и они не годятся для расчета концентраций на дальних расстояниях – более нескольких десятков километров (внешняя зона влияния).

Решение многофакторной задачи, аналогичной задачам, решаемым с помощью ОНД-86 для определения поля концентраций во внешней зоне влияния, теряет смысл. Во-первых, значительные перепады концентрации вблизи местных преград, геометрических неровностей подстилающей поверхности по сравнению с масштабами размеров в несколько десятков метров на больших расстояниях от источников выбросов (десятки, сотни километров) в силу большого количества случайных причин нивелируются. Из-за этого поле концентраций во внешней зоне влияния должно быть локально более однородным, чем во внутренней зоне влияния. Во-вторых, с ростом расстояния от источника территория, на которой требуется определить распределение концентраций (общая площадь поля концентраций) резко возрастает, численный расчет с учетом большого количества варьируемых подгоночных параметров многократно усложняется. Особенно, если для прогноза желательно получить полную картину распространения выбросов по всем географическим направлениям от их источника. Здесь проявляется еще одно универсальное свойство концентрационных полей для компонентов выбросов – отсутствие пространственной радиальной поворотной симметрии относительно точки выброса. Значения концентрации для одного и того же компонента в точках, расположенных на одинаковых расстояниях от точки выброса (начальной точки), но на разных радиус-векторах, могут значительно отличаться. Такая пространственная анизотропия является следствием наличия розы ветров.

Концентрация любого компонента выбросов зависит от постоянно изменяющихся атмосферных факторов. Это значит, что значение концентрации в каждой точке поля концентраций испытывает постоянные флуктуации, амплитуда которых зависит от пространственных координат и времени. Поэтому расчетным путем принципиально нельзя получить окончательного точного значения концентрации во всей внешней зоне

влияния. Получение среднего значения в течение некоторого времени также не дает полной информации о возможной опасности, так как какое-то время концентрация может превышать среднюю, а значит и опасность для человека может быть более высокой, чем та, которая соответствует среднему значению концентрации.

В связи с изложенными обстоятельствами в предлагаемом подходе прогнозирования распространения газовых выбросов во внешней зоне влияния металлургических комбинатов использован общий принцип анализа, который назван авторами принципом максимальной опасности. Его содержание заключается в следующем: общий анализ опасности повышения концентрации вредных (опасных для человека и природы) газовых выбросов должен включать в себя оценку верхней границы возможных значений концентрации. Поэтому для прогноза безопасности надо проводить расчеты максимально возможной концентрации, отбрасывать все факторы, локально снижающие концентрацию и определять вероятность реализации этой максимальной концентрации для заданных координат и времени, т.е. поле концентраций внешней зоны влияния должно характеризоваться минимально двумя параметрами в каждой точке: максимальной концентрацией и вероятностью появления этой концентрации (долей времени, длительностью сохранения этой концентрации).

Максимально возможную концентрацию компонента выбросов для стационарного поля концентрации следует определять из баланса основных факторов роста и падения концентрации во внешней зоне влияния. Основным фактором роста, который отвечает за распространение газообразных веществ в атмосфере, является процесс ветрового переноса. Диффузионные процессы по интенсивности не могут конкурировать с воздействием ветра. Это следует из соотношения расстояний диффузионного переноса  $L_d$  и ветрового переноса  $L_w$  за одно и то же время  $t$ :

$$\frac{L_d}{L_w} = \frac{2\sqrt{Dt}}{wt},$$

где  $D$  – коэффициент диффузии газовых молекул в воздухе ( $D \approx 0,1 \div 1 \text{ см}^2/\text{с}$ ). При умеренной скорости ветра  $w = 1 \text{ м/с}$  и  $t = 1 \text{ ч}$ ,  $L_d/L_w \approx 2 \cdot 10^{-4}$ . Отношение расстояний переноса приблизительно соответствует вкладу диффузии в величину концентрации (как видно, этот вклад не превышает 0,02 %). При увеличении скорости ветра и интервала времени, для которого производится анализ поля концентрации, этот вклад становится еще меньше. Поэтому в качестве фактора роста концентрации достаточно использовать процесс ветрового переноса.

Основной фактор падения концентрации – это химический фактор. Он не подвержен влиянию природных процессов и определяется лишь только самим компо-

нением, распространение которого в атмосферной среде необходимо проанализировать. Поэтому избежать использования химического фактора даже при определении максимально возможной концентрации компонента выброса не удастся. Остальные факторы падения концентрации – восходящие потоки воздуха, местные воздушные течения, конвективные процессы и другие являются природно-обусловленными и проявляются локально. Эти явления носят случайный характер, они могут присутствовать на пути распространения компонентов выбросов и снижать концентрации компонентов, но могут и отсутствовать. Учет их при расчете максимальной концентрации компонентов выбросов не требуется.

На основании представленных основных положений данного подхода и принципа максимальной опасности сформулирована простая математическая модель, с помощью которой можно получить общую картину стационарного поля концентраций для любого из компонентов выбросов конкретного металлургического предприятия на любой заданный промежуток времени. Для случая стационарного распространения химически активного компонента  $i$  под действием ветра в  $j$ -ом географическом направлении его концентрация  $c_{ij}$  определяется уравнением

$$w_j \frac{dc_{ij}}{dr} + k_i c_{ij} = 0,$$

где  $r$  – расстояние от источника выбросов вдоль географического направления  $j$ . Решение уравнения имеет следующий вид

$$c_{ij}(r) = c_{i0} e^{-\frac{k_i}{w_j} r}.$$

Данное решение содержит две части. Первая –  $c_{i0}$  является средней максимальной концентрацией  $i$ -го компонента, которая реализуется при ветровом пространственном переносе данного компонента вдоль  $j$ -го направления со скоростью ветра  $w_j$  – фактор роста. Определить  $c_{i0}$  можно с помощью формулы

$$c_{i0} = \frac{m_i}{w_j S_j},$$

где  $m_i$  – мощность выброса  $i$ -го компонента,  $S_j = d_j h$  – площадь, через которую происходит вынос данного компонента,  $d_j$  – поперечник предприятия, перпендикулярный направлению  $j$ ,  $h$  – высота слоя, в котором происходит вынос газовых выбросов (обычно высоту слоя считают равной высоте дымовых труб предприятия).

Вторая часть решения –  $e^{-\frac{k_i}{w_j} r}$  представляет собой коэффициент снижения концентрации компонента с расстоянием от источника вследствие его химической активности – фактор падения.

Для получения математического образа поля концентрации заданного компонента в географических координатах кроме мощности его выброса  $m_i$  и его химической активности в воздушной среде  $k_i$  необходимо знание розы ветров региона расположения металлургического предприятия. Это позволит определить зависимость максимальной концентрации компонента от расстояния (удаленности от источника выброса) по восьми географическим направлениям, восьми румбам розы ветров. Получение полной информации по распределению каждого компонента с помощью розы ветров позволяет совместить поля максимально возможных (максимально опасных) концентраций каждого компонента с географической картой местности расположения конкретного предприятия (с нанесением на карту изоконцентрационных линий).

Для каждой географической местности существуют розы ветров, характеризующие ветровые характеристики для различных циклически повторяющихся периодов времени – среднегодовые, сезонные и помесечные розы ветров. Соответственно для каждого из этих временных периодов (для каждого компонента выбросов) может быть получено поле (пространственное распределение) максимально возможных концентраций, совмещенное с географической картой местности расположения металлургического комплекса (предприятия), т.е. прогнозная карта для данного вещества на данный период времени.

Розы ветров кроме средних скоростей ветра по каждому из восьми румбов содержат также  $\eta_j$  – долю времени (%), в течение которого ветер дует в направлении данного румба. Этот параметр имеет смысл вероятности или длительности сохранения максимального значения концентрации в течение периода времени, соответствующего розе ветров.

Таким образом, использование исходных данных, а именно мощности выброса компонента, химической активности компонента, геометрических размеров предприятия (схемы его расположения) и розы ветров на местности расположения предприятия для определенного периода времени позволяет посредством принципа максимальной опасности получить карту-схему поля концентрации во внешней зоне влияния, сделать прогноз максимальной концентрации и вероятности ее достижения в любой географической точке на всех восьми лучах направлений света.

Приведем пример использования предлагаемого подхода. Сделаем оценку концентрации оксидов азота  $\text{NO}_2$  в результате их распространения при выбросах в атмосферу НЛМК в черте города Липецка и сравним максимальные концентрации, полученные при расчете по предложенной методике и методике ОНД-86, а также результаты регионального мониторинга для НЛМК за 2008 г.

В качестве исходных данных используем количественную характеристику выбросов  $\text{NO}_2$  за 2008 г.

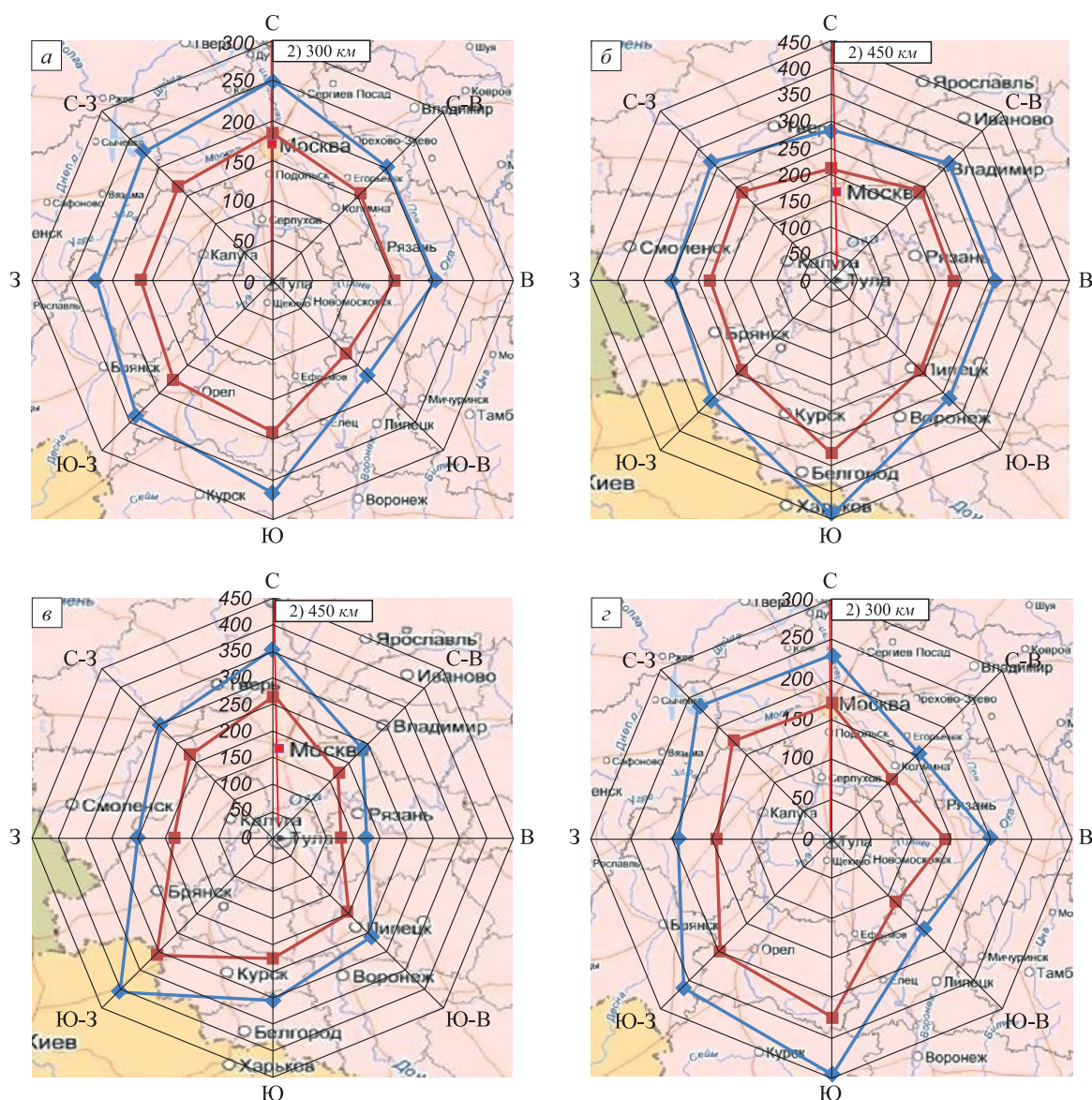


( $m_{\text{NO}_2} = 6070 \text{ т/год} = 192,5 \text{ г/с}$ ), среднюю площадь территории НЛМК  $f = 29 \text{ км}^2$ , с помощью которой можно оценить средний размер предприятия  $d = 6,1 \text{ км}$  [4], эффективный коэффициент химической активности  $\text{NO}_2$  в атмосфере  $k_{\text{NO}_2} = 0,14 \text{ ч}^{-1} = 4 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$  [5] и годовую розу ветров в районе г. Липецка [6].

Результаты оценочного расчета максимальной концентрации без учета фактора ее падения для двух направлений, по одному из которых концентрация  $\text{NO}_2$  оказывается наибольшей [Северо-Восток (С-В)], а по другому – наименьшей [Юго-Запад (Ю-З)] в сравнении с максимальной концентрацией, рассчитанной на основе методики ОНД-86 на расстоянии, примерно соответствующем границе внутренней и внешней зон влияния НЛМК, представлены в таблице. Приведено также значение среднегодовой концентрации  $\text{NO}_2$ , полученное с помощью прямых измерений (импактный мониторинг) для тех же условий, что были использованы в расчетах.

По данным, представленным в таблице, видно, что максимальные концентрации во всех трех случаях имеют близкие значения. Но при этом по методике ОНД-86 максимальная концентрация при увеличении расстояния достаточно быстро падает. Расчетные данные по предлагаемой методике свидетельствуют, что концентрация попавших в атмосферу веществ остается значительной на расстояниях, намного превышающих размеры территории предприятия. Отличие еще и в том, что предложенный расчет дает в качестве результата максимально возможные концентрации, причем не только в непосредственной близости от места выброса, а на любом от него расстоянии.

Следующий пример демонстрирует результаты, полученные авторами для распространения  $\text{NO}_2$  в географическом регионе ОАО «Тулачермет», т.е. на территориях, захватывающих двухсот-трехсот километровую зону вблизи г. Тула. Данные, полученные с уче-



Распределение концентраций  $\text{NO}_2$  по восьми направлениям ветра для ОАО «Тулачермет»:

а – осень; б – зима; в – весна; г – лето; —♦— — ПДК; —■— — 2ПДК

### Результаты расчетов и измерений концентрации $\text{NO}_2$ вблизи НЛМК

Компоненты выбросов	Предложенная методика $C_0$ , мг/м³		Методика ОНД-86 $C_m$ , мг/м³	Импактный мониторинг по оси газового выброса НЛМК	
	Направление ветра			Расстояние, км	Среднегодовая концентрация, мг/м³
	С-В	Ю-З			
NO <sub>2</sub>	0,084	0,064	0,086	6	0,08

том фактора ветрового переноса и химического фактора, нанесены на географическую карту центра России для четырех годовых сезонов (см. рисунок). Для этого дополнительно использованы сезонные розы ветров Тульского региона [6]. В результате получены четыре карты-схемы, на которых изоконцентрационные линии ограничивают территории, где концентрация  $\text{NO}_2$  может в течение указанных сезонов превышать ПДК и 2ПДК. Вероятность достижения концентраций данных уровней дается факторами повторяемости  $\eta_j$  для каждого ( $j$ -го) румба соответствующей розы ветров.

Таким образом посредством карт-схем получен прогноз степени опасности от воздействия  $\text{NO}_2$  для каждого времени года. Можно отметить, что возможность появления опасных уровней концентрации  $\text{NO}_2$  имеется даже в Москве и других городах Московской области. Кроме того, проведенный расчет и построенные на его основе карты-схемы показывают, что расположение территорий, подверженных влиянию ОАО «Тулачермет», меняется от сезона к сезону. Это также важно при принятии реальных мер по защите населения этих территорий от опасного влияния  $\text{NO}_2$ .

Предложенный способ анализа распространения газовых выбросов и прогноза опасных ситуаций вблизи

промышленных центров можно использовать для описания влияния нестационарных явлений в атмосфере – прохождения атмосферных фронтов, возникновения вихрей и других турбулентных явлений на концентрационное поле газовых выбросов. Однако эти задачи требуют отдельного рассмотрения.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Vishnyakova K.V., Petelin A.L., Yusphin Yu.S. // Defect and Diffusion Forum. 2011 Vol. 309 – 310. P. 239 – 242.
2. ОНД – 86. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. – Л.: Гидрометеиздат, 1987.
3. Завгороднев А.В., Акопова Г.С., Мельников А.В. // Экология. Ресурсосбережение. 2011. № 10. С. 68 – 73.
4. Группа компаний Новолипецкого металлургического комбината [Электронный ресурс]: офиц. сайт. URL: <http://nlmk.com/ru> (дата обращения: 01.03.2012).
5. Иси́доров В.А. Экологическая химия: Учеб. пособие для вузов. – СПб: Химиздат, 2001. – 304 с.
6. Научно-прикладной справочник «Климат России» [Электронный ресурс]: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». Обнинск, 2011. URL: <http://aisori.meteo.ru/Clspr> (дата обращения: 25.01.2012)

© 2013 г. А.Л. Петелин, Ю.С. Юсфин, Д.И.,  
Орелкина, К.В. Вишнякова  
Поступила 18 июля 2013 г.

**В.Я. Дашевский, Ю.С. Юсфин, Г.С. Подгородецкий, Н.В. Баева**

Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»

## ПРОИЗВОДСТВО МАРГАНЦЕВЫХ ФЕРРОСПЛАВОВ ИЗ МАРГАНЦЕВЫХ РУД УСИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ\*

**Аннотация.** Усинское месторождение марганца одно из крупнейших в России по запасам (балансовые запасы – 98,5 млн т, прогнозные запасы – 150,4 млн т). Марганцевые руды Усинского месторождения характеризуются сравнительно низким содержанием марганца (18 – 22 %) и повышенным содержанием фосфора (0,2 – 0,3 % и более). Разработана технологическая схема обогащения усинских руд, которая предполагает использование рентгенофлуоресцентной (рентгенорадиометрической) сепарации для кусковой руды и отсадки для мелкой. На основании проведенного анализа процессов выплавки марганцевых ферросплавов и химического состава концентратов, получаемых при обогащении марганцевых руд Усинского месторождения, разработана оптимальная технологическая схема получения всей гаммы марганцевых ферросплавов.

**Ключевые слова:** обогащение марганцевых руд, выплавка марганцевых ферросплавов, высокоуглеродистый ферромарганец, ферросиликомарганец, средне- и низкоуглеродистый ферромарганец, металлический марганец.

## PRODUCTION MANGANESE FERROALLOYS OF MANGANESE ORE USINSKOYE FIELD

**Abstract.** Usinskoye manganese field one of the largest in Russia in terms of (the carrying reserves - 98.5 million tonnes probable reserves – 150.4 million tons). Manganese ore deposits Usinskoye characterized by comparatively low manganese content (18 – 22 %) and a high content of phosphorus (0.2 – 0.3 % and more). Developed technological flowsheet Usinskaya ore, which involves the use of X-ray fluorescence (X-ray radiometric) separation for lumps and jigging for small. Based on the analysis of the processes of smelting manganese ferroalloys and chemical composition of the concentrates produced at enrichment of manganese ores of new Usinskoye field, developed the optimal flowsheet of obtaining the whole range of manganese ferroalloys.

**Keywords:** enrichment of manganese ore, manganese ferroalloy smelting, high-carbon ferromanganese, iron-silicon-manganese, medium- and low-carbon ferromanganese, metal manganese.

### Минерально-сырьевая база марганца в России

Основной базой марганцеворудной промышленности в СССР являлись Никопольское (Украина), Чиагурское (Грузия) и Джездинское (Казахстан) месторождения. На этих месторождениях добывали более 20 млн т сырой руды при среднем содержании марганца в руде 22,4 %. Из этой руды при обогащении ее гравитационными методами получали более 10 млн т концентрата со средним содержанием марганца 33,91 %. Почти 70 % от этого количества составляли окисные концентраты со средним содержанием марганца 39,41 %. Карбонатные концентраты, доля которых в общем производстве марганцевых концентратов составляла менее 30 %, содержали в среднем 24,34 % марганца. Для производства марганцевых ферросплавов использовали карбонатные концентраты только I и II сорта, содержание марганца в которых выше 29 %.

Из концентратов, производимых обогатительными комбинатами, ферросплавная промышленность СССР выплавляла около 2 млн т марганцевых ферроспла-

вов. Основную долю в общем производстве составляли 82 %-ный (Mn + Si) ферросиликомарганец (около 1,4 млн т) и высокоуглеродистый ферромарганец (около 0,4 млн т), значительную часть в общем объеме составляло производство среднеуглеродистого ферромарганца (более 100 тыс. т) и металлического марганца (около 10 тыс. т) [1].

После распада Советского Союза Россия оказалась без марганцеворудной базы. Потребность в марганцевых ферросплавах в Российской Федерации составляет порядка 600 – 650 тыс. т в год. Высокоуглеродистый ферромарганец в России в настоящее время выплавляют в доменных печах Косогорского металлургического и Саткинского чугуноплавильного заводов из импортных марганцевых руд [2]. Объем производства высокоуглеродистого ферромарганца возрос с 88 тыс. т в 2000 г. до 109,5 тыс. т в 2005 г. Ферросиликомарганец периодически производили на Челябинском электрометаллургическом комбинате (в основном из казахстанской марганцевой руды). Объем производства ферросиликомарганца составлял в 2000 г. 122 тыс. т, а в 2004 г. 143 тыс. т. В последующие годы производство высокоуглеродистого ферромарганца оставалось практически на том же уровне, а ферросиликомарганец не производили.

\* Работа выполнена в рамках Программы № 27 фундаментальных исследований Президиума РАН.