



## **ЕВРОПЕЙСКАЯ ЭКОНОМИЧЕСКАЯ КОМИССИЯ ОРГАНИЗАЦИИ ОБЪЕДИНЁННЫХ НАЦИЙ**

*Рабочая группа по мониторингу и оценке окружающей среды  
в сотрудничестве с Исполнительным органом Конвенции о трансграничном загрязнении  
воздуха на большие расстояния и Европейским агентством по окружающей среде*

### **РАБОЧЕЕ СОВЕЩАНИЕ ПО ВЗАИМОДЕЙСТВИЮ МЕЖДУ МОНИТОРИНГОМ КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА И СТРАТЕГИЯМИ ОХРАНЫ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В СТРАНАХ ВОСТОЧНОЙ ЕВРОПЫ, КАВКАЗА И ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ**

11 июня 2007 г., Дворец Наций, Женева

#### **РОЛЬ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ МОНИТОРИНГА КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В РАЙОНАХ С ВЫСОКОЙ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКОЙ<sup>1</sup>**

##### **Введение**

Рост объемов продукции промышленного производства сопровождается увеличением выбросов вредных веществ в атмосферы. Попадая в атмосферу, примеси, в зависимости от состояния воздушного бассейна, определяют уровень загрязнения воздуха и создают потенциальную опасность для здоровья и жизни людей. В связи с этим необходимо создание таких систем мониторинга качества атмосферного воздуха, которые позволяли бы решать задачи управления качеством воздушного бассейна с помощью различного рода оперативных действий позволяющих устанавливать причины повышенного уровня загрязнения воздуха и находить решения по их ликвидации.

В последнее десятилетие проблема контроля и защиты воздушного бассейна от промышленных загрязнений приобретает большую актуальность, в связи с резкими изменениями климата, обусловленными антропогенными воздействиями. Решение этой задачи в страны ВЕКЦА усложняется в связи с недостаточным финансированием научных исследований по созданию современной научно-методической и вычислительной базы, позволяющей моделировать (диагностировать и прогнозировать) процессы переноса и рассеяние примесей в конкретных метеорологических и геофизических условиях. Кроме этого отсутствуют современные, в том числе дистанционные, методы и средства контроля загрязнения воздушного бассейна в промышленно районах.

---

<sup>1</sup> Доклад подготовлен г-ном С.Н. Степаненко, ректором Одесского государственного экологического университета (ОДЭКУ), г-жой Н.Б. Овчинниковой, Начальником отдела охраны атмосферного воздуха Минэкологии Украины и г-ном В.Г. Волошиным, Зав. научно-исследовательской лабораторией ОДЭКУ. Не считая небольшого реформатирования, доклад воспроизводится в том виде, в каком он поступил в Секретариат ЕЭК ООН.

## Обоснование задачи

Как известно, охрана атмосферного воздуха от загрязнения вредными примесями основана на двух принципах. Первый состоит в нормировании выбросов в атмосферу вредных веществ с целью не допущения нарушения стандартов качества окружающей среды. Второй – в контроле соблюдения природопользователем установленных норм выброса вредных веществ.

*Первый принцип* основан на ограничении эмиссии вредных веществ в атмосферу (emission of pollutants in an atmosphere) путем установления нормативов предельно допустимых выбросов (ПДВ). Принципы 11 и 12 из «Руководящих принципов эффективных систем природоохранных разрешений» допускают комбинированный вариант к установлению предельно допустимых выбросов в комплексных разрешениях, которые, используя интегральный подход к оценке норм выбросов, обеспечивают качество окружающей среды. Установление нормативов выбросов осуществляется или с помощью моделирования ПДВ, что обеспечивает соответствие эмиссии стандартам качества воздуха, или с помощью технического подхода к установлению ПДВ на основе соответствующих технических решений. Нормирующий показатель ПДВ, в этом случае, может быть получен с помощью “наилучших доступных технических методов” (best available techniques, BAT) в соответствии с применимыми техническими рекомендациями.

Если соблюдение стандартов качества окружающей среды (СКОС) требует более жестких ПДВ, чем те, которые получены на основе BAT, стандарты качества окружающей среды имеют приоритет и в разрешение включают более жесткие ПДВ.

Выдача разрешений и установление соответствующих условий в разрешениях, зависит от наличия технических рекомендаций о том, что является BAT. Оператор (природопользователь), формулирующий свою заявку, и орган регулирования, оценивающий ее, должны руководствоваться одними и теми же рекомендациями по BAT. Без технических рекомендаций будет велика вероятность частых разногласий между операторами и органами регулирования по вопросу определения BAT. Источником подобных технических рекомендаций служат Справочные документы по BAT Европейского союза (документы BREF). Отраслевые документы BREF включают технические и эксплуатационные особенности для различных отраслей и соответствующие им ПДВ, называемыми в данном случае “технологическими нормами выброса”.

*Второй принцип* охраны атмосферного воздуха от загрязнения заключается в постоянном, эффективном и достоверном контроле соблюдения операторами (природопользователями) необходимого уровня качества окружающей среды (учитывая совокупное воздействие на окружающую среду множества источников загрязнения), который регламентируется установленной системой разрешений. Если условия, заложенные в разрешениях, не обеспечивают необходимый уровень стандартов качества окружающей среды, то вносят соответствующие изменения в установленную систему разрешений путем регулирования эмиссии источников загрязнения.

Реализация этого принципа должна осуществляться через “Мониторинг качества окружающей среды (атмосферного воздуха)”. Сеть наблюдений за загрязнением атмосферного воздуха предназначена: для получения информации о загрязнении воздушного бассейна в городах и промышленных центрах; для наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха; для оповещения заинтересованных организаций об экстремально высоких уровнях загрязнения. Наблюдения за состоянием загрязнения атмосферного воздуха ведутся на стационарных постах специалистами национальных гидрометеорологических

служб. Число стационарных постов и их размещение в каждом конкретном населенном пункте определяется с учетом численности населения, рельефа местности, фактического уровня загрязнения и на основе нормативных документов.

Из сформулированных задач (целей) мониторинга следует выделить только одну, которая и должна быть положена в основу любого мониторинга, как одного из элементов охраны окружающей среды – это контроль соблюдения условий, заложенных в системе разрешений. Выполнение этой задачи позволяет обеспечить обратную связь между качеством атмосферного воздуха и эмиссией источников. Только в этом случае мониторинг исполняет **“роль регулятора эмиссионных процессов”**.

Иные задачи, как получение информации о загрязнении воздушного бассейна, оповещение заинтересованных организаций об экстремально высоких уровнях загрязнения, хоть и важны и необходимы, но сводят роль мониторинга к пассивному наблюдению происходящих процессов без возможности повлиять на них.

Страны ВЕКЦА в том числе и Украина изменяют политику контроля эмиссии источников. От моделируемых норм выброса ПДВ, рассчитываемых по методике ОНД-86, построенной на принципе оценки максимально возможной концентрации, переходят к технологическим нормативам выбросов по каждому компоненту примеси или по группе компонент.

Концентрации, полученные путем проведения расчетов с помощью ОНД-86 (УПРЗА), являются максимальными и превышаются не более чем 2% случаев, которые отнесены к нетипичным, т.е. практически не наблюдаемым в данной местности метеоусловиям. Отчеты по моделированию ПДВ с использованием программ УПРЗА демонстрируют только соблюдение применяемых стандартов качества атмосферного воздуха.

Современные системы мониторинга основанные на регламентирующих документах ОНД-86 не выполняет функцию **“регулятора эмиссионных процессов”**. Например, если фиксируются нарушения качества атмосферного воздуха (опасные превышения концентраций загрязнителей), то, учитывая совокупное действие множества источников загрязнения и значительное влияние текущих метеорологических условий на процессы рассеяния и переноса примесей, выделить из множества источников “нарушителя” норм ПДВ теоретически и практически невозможно, а, следовательно, невозможно регулировать и совершенствовать систему разрешения норм выброса.

Необходимо обеспечить регулирующую роль мониторинга атмосферного воздуха, т.е. восстановить функциональную взаимосвязь между измеренными значениями концентраций и мощностью выбросов вредных примесей в атмосферу источниками загрязнения. Для решения этой задачи предлагается включить в состав системы мониторинга расчетные центры, которые, используя комплекс базовых моделей загрязнения атмосферы, будут “восстанавливать” поля приземных концентраций. Такой комплекс может быть построен на базе моделей загрязнения атмосферы, используемых в Европейском Союзе с использованием отдельных блоков УПРЗА.

Комплекс сможет работать в реальном масштабе времени, рассчитывая поля концентраций  $i$ -го ингредиента, создаваемые отдельными или суммой источников. При этом должны учитываться как фактические метеорологические и геофизические условия, так и изменяющиеся, в процессе переноса, физико-химические характеристики примеси.

Атмосферные законы рассеяния и переноса примесей идентичны для всех видов примесей, поэтому программный комплекс должен содержать унифицированные математические модели и вычислительные средства для всех видов примесей и источников, трехмерную диагностическую метеорологическую модель и диагностическую модель локального и дальнего переноса и рассеяния примесей.

Расчетные значения концентраций отдельных ингредиентов в виде полей значений приземных концентраций в узлах расчетной сетки должны сравниваться с фактическими значениями концентраций  $i$ -го ингредиента, измеренного по данным стационарных (или мобильных) пунктов измерения. Расхождения между ними должны укладываться в некоторый выбранный «коридор». Превышение фактического поля концентраций над расчетным будет свидетельствовать или о неблагоприятных метеорологических условиях рассеяния, или о нарушении технологических норм выбросов, или об аварийных ситуациях, или о наличии в этом районе неучтенных источников. Источники, нарушающие установленные нормы выброса, могут быть обнаружены по обратным траекториям с учетом их вклада и функции источника в суммарное загрязнение воздуха, обнаруженное на данном пункте.

Преимущества сочетания «прямого мониторинга», состоящего из системы стационарных пунктов измерений и «косвенного мониторинга», моделирующего реальные поля концентраций вредных примесей, очевидны. Большие возможности вычислительной техники решать различные задачи управления и контроля и позволят оперативно принимать меры при нарушениях стандартов качества окружающей среды.

### **Принципы построения мониторинга с управляющими функциями**

Рассмотрим систему  $S=Q \cup E$ . Систему  $S$  можно рассматривать как некоторую экологическую систему, состоящую из окружающей среды  $E=A \cup R$ , качество которой контролируется мониторингом и источников  $Q$  загрязняющих среду  $A$  (атмосфера). Действие источника загрязнения  $Q$  (ИЗ) наносит ущерб объекту  $R$ . Таким образом, атмосфера  $A$  есть среда передачи воздействия источника  $Q$  на объект  $R$ . Объект  $R$ , который подвергается воздействию, может рассматриваться и как пункт контроля загрязнения атмосферы (КЗА). Такая экологическая система присуща практически любому географическому району, где развита техногенная деятельность.

Система  $S$  может быть формализована в виде двух подсистем – подсистема «мониторинг качества воздуха»  $S_E$  и подсистема «мониторинг технологических процессов»  $S_Q$ .

Состояние подсистемы  $S_Q$  характеризуется рядом параметров  $h=\{h_i\}$ ,  $h \in Q$ . Например, производительностью (мощностью) источника загрязнения, физико-химическими свойствами примеси, технологическими характеристиками источниками и др.. Следовательно, состояние  $S_Q$  в моменты времени  $t \in [0, T]$ , будет представлено некоторой случайной функцией  $h=h(t)$ .

Состояние подсистемы  $S_E$  (атмосфера), через которую происходит перенос вредных примесей от источников до объекта воздействия, также характеризуется рядом параметров  $m=\{m_i\}$ ,  $m \in A$ . Такими параметрами могут быть скорость и направление ветра, температура и влажность воздуха, класс устойчивости атмосферы, состояние подстилающей поверхности, высота слоя перемешивания, механизмы взаимодействия примеси с атмосферой и

поверхностью и др.. В различные моменты времени состояние атмосферы  $A$  характеризуется набором значений этих параметров, т.е. случайной функцией  $m=m(t)$ .

Наконец, состояние объекта  $R$ , может быть охарактеризовано скалярным параметром  $l \in R$ , который представляет величину уровня загрязнения окружающей среды  $S_E$ , или величину ущерба, нанесенного объекту  $R$  воздействием объекта  $Q$ . Следует добавить, что все параметры  $S_Q$ ,  $S_E$  и  $R$  контролируются в процессе мониторинга подсистем.

Параметр  $l$  полностью определяется состоянием системы QUA и представляет собой систему двух случайных функций

$$l = l(h(t), m(t)) \quad (1)$$

Если, например, рассматривать ущерб, нанесенный объекту  $R$ , то он будет зависеть от концентрации вредных веществ  $q(x_i, t)$  в атмосфере, в заданной точке пространства  $x_i$ . В этом случае функция  $l = l(h(t), m(t))$  преобразуется в одномерную случайную функцию, которая определяется ингаляционные дозы вредных веществ  $D$

$$l = l(D(t)), \text{ где } D(t) = \int_0^t c(x, t) dt \quad (2)$$

Если мы рассматриваем объект  $R$  как пункт контроля загрязнения атмосферы (КЗА), то концентрации вредных веществ определяется многомерной функцией  $l = l(h(t), m(t))$ , т.е. полями концентрации примесей, которые, как векторное, так и скалярное, будут зависеть от параметров системы  $O \cup A$ , поэтому качество атмосферного воздуха может быть представлено следующим функцией:

$$C(x, y, z) = f(C_\phi, k_{GS}, R, f(h), \vec{U}, \alpha, R_{ch}) \quad (3)$$

где  $C$  – многокомпонентная случайная величина определяющая качество атмосферного воздуха;  $C_\phi$  – фоновая концентрация;  $k_{GS}$  – класс стабильности атмосферы;  $R$  – атмосферные осадки (вымывание, поглощение примесей);  $f(h)$  – функция источника;  $U$  – вектор ветра;  $\alpha$  – коэффициент взаимодействия с поверхностью;  $R_{ch}$  – наличие фотохимических реакций.

Все множество состояний системы  $S$ , оцениваемых вектором  $C$  разобьем на два подмножества  $S_D$  и  $S_P$ , где  $S_P$  – множество всех нормальных состояний воздуха, когда  $q_i < q_{ПДК}$ , а  $S_D$  – множество опасных ситуаций, когда  $q_i \geq q_{ПДК}$ . Существование опасных ситуаций  $S_D$  ведет к необходимости введения системы управления загрязнением воздушного бассейна.

Критерий, который определит необходимость управления системой  $S$ , при условии, что наступило событие  $s_i \in S_D$ , может быть записан

$$J(C, m, \Delta t) = \min_{m \in \Omega_D} J(C, m, \Delta t) \quad (4)$$

где  $\mathbf{m}$  – вектор управления источниками,  $\Delta t$  – промежуток времени развития опасных ситуаций,  $\Omega_D$  – множество "допустимых" для управления ситуациями  $s_i \in S_D$  решений.

Для определения критического порога нахождения вектора управления источниками  $\mathbf{m}$ , необходимо выделить множество  $\Omega_D$  из состояний  $s_i \in S_D$ .

Первым шагом является идентификации аномально работающих источников загрязнения атмосферы. Например, если на пункте КЗА зафиксирована концентрация  $q_i > q_{ПДК}$ , то это свидетельствует или о неблагоприятных метеорологических условиях рассеяния, или о нарушении норм выбросов ПДВ, или об аварийных ситуациях, или о наличии в этом районе неучтенных источников. Источники, нарушающие установленные нормы выброса, могут быть обнаружены по полям концентраций с учетом вклада каждого источника в суммарную концентрацию поллютанта. Вклад можно определить с учетом функции источника  $h=h(t)$ , используя фактор разбавления примеси, который можно представить следующим образом

$$G_k = M_k \cdot \left[ \sum_{i=1}^k q_i \right]^{-1} \cdot \tau_k \quad (4)$$

где  $G_k$  – фактор разбавления примеси  $k$ -того источника,  $\text{м}^3$ , ( $k=1,2,\dots, N$ );  $\tau_k = x/U$  – время переноса примеси от  $k$ -того источника до пункта контроля ЗА, с;  $\sum_{k=1}^N q_k$  – суммарная концентрация примеси создаваемая  $N$  источниками в пункте контроля.

Система поиска "нарушителя" должна иметь банк данных об источниках, библиотеку диффузионных моделей различного уровня сложности, сервисные программы вывода цифровой и графической информации, а также средства диалога, обеспечивающие гибкость работы пользователей с системой в режиме обучения и позволяющие совершенствовать существующее математическое описание процессов на основе вновь полученных данных. В настоящее время определены только основные принципы построения системы: разделение на модули, иерархия, информационная совместимость, интегральность, унифицированность форматов данных.

### **Принципы построения метеорологической модели для оценки диффузионных параметров**

Одним из основных элементов «мониторинга качества воздуха»  $S_E$ , является трехмерная диагностическая метеорологическую модель, которая позволяет построить поля приземных концентраций от множества действующих источников.

Модель должна описывать структуру трехмерного нестационарного пограничного слоя атмосферы над орографически неоднородной подстилающей поверхностью.

Математическая модель нестационарного пограничного слоя атмосферы, включает прогностические уравнения движения, переноса тепла, влаги, примеси и диагностические уравнения статики, состояния, неразрывности и диффузии. Замыкание системы уравнений осуществлено с помощью уравнений баланса кинетической энергии турбулентности ( $b$ ), скорости её диссипации ( $\epsilon$ ) и соотношения Колмогорова, связывающего коэффициент вертикального турбулентного обмена ( $k$ ) с  $b$  и  $\epsilon$ . Описание горизонтального турбулентного

обмена базируется на понятии внутрисеточного коэффициента турбулентной вязкости  $k_L$ , который оценивается через полную деформацию по формуле Смагоринского.

Модель формирует массивы данных необходимые для работы расчета загрязнения атмосферы. Эти массивы содержат информацию об орографии поверхности, о координатах и функциях источников примесей, массив диагностических (или прогностических) метеорологических полей, которые преобразовываются под задачи последующих модулей. Массивы информации о распределении диффузионных параметров атмосферы необходимы для расчета загрязнения атмосферы.

Модель включают модуль расчета локального и регионального переноса примесей над заданным районом. Такой расчетный модуль позволяет получить пространственно-временное распределение концентраций загрязнителей в приземном слое над выбранным ограниченным районом в любой момент времени. Источники примеси находятся как внутри, так и вне области расчетов.

В ближней от источника зоне используется статистическая теория турбулентной диффузии. В дальней от источника зоне перенос и рассеивание примеси описывается уравнением турбулентной диффузии, в котором характеристиками турбулентного рассеивания являются коэффициенты вертикального и горизонтального турбулентного перемешивания.

Блок локального переноса, который использовался при подготовке доклада, построен на базе гауссовых моделей диффузии по типу модели ISCS3 (Industrial source complex dispersion models, Environmental Protection Agency). Эта модель применяются практически во всех европейских странах и доминируют в нормативных документах, устанавливающих допустимые уровни загрязнения и правила расчета приземной концентрации.

Для непрерывных приподнятых точечных источников (в основном это выбросы из труб промышленных источников) разовая концентрация примеси  $q(x, y, z)$ , при постоянных условиях рассеяния, рассчитывается согласно гауссовской модели

$$q(x, y, z) = M \cdot G_0(x, y, z), \quad (6)$$

где  $G_0(x, y, z)$  – разовый фактор разбавления примеси в атмосфере.

Для невесомой пассивной не взаимодействующей с подстилающей поверхностью примеси, рассеивающейся в полубесконечном пространстве, фактор разбавления  $G_0(x, y, z)$  представляется формулой

$$G_0(x, y, z) = \frac{1}{2\pi\sigma_y(x) \cdot \sigma_z(x)} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2(x)}\right) \cdot \left[ \exp\left(-\frac{(z-h_e)^2}{2\sigma_z^2(x)}\right) + \exp\left(-\frac{(z+h_e)^2}{2\sigma_z^2(x)}\right) \right], \quad (7)$$

где  $h_e$  – эффективная высота подъема струи;  $u$  – скорость ветра на высоте выброса или средняя в слое;  $\sigma_y^2(x)$  и  $\sigma_z^2(x)$  – дисперсия струи в поперечном и вертикальном направлении на расстоянии  $x$  от источника.

Корректировка разового фактора  $G_0$  с целью учета рассеяния весомой, активной, взаимодействующей с подстилающей поверхностью примеси в слое перемешивания высотой  $H$  проводится следующим образом:

$$G(x, y, z) = \left[ G_0(x, y, z) + \frac{1}{2\pi\sigma_y(x)\sigma_z(x)u_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2(x)}\right) \cdot A(x, z) \right] \cdot F(x) \quad (8)$$

где  $A(x, z)$  – выражение, учитывающее полное отражение примеси от верхней и нижней границ слоя перемешивания и определяющие число волн отражения примеси от верхней границы слоя перемешивания;  $F(x)$  – функция обеднения источника, представляемая в виде

$$F(x) = f_{ch}(x) \cdot f_w(x) \cdot f_{V_d}(x) \quad (9)$$

$f_{ch}(x) \cdot f_w(x) \cdot f_{V_d}(x)$  – фактор обеднения источника за счет химических реакций, фактор обеднения за счет вымывания осадками, фактор обеднения за счет сухого осаждения соответственно.

На рис. 1 показаны результаты расчета суммарного поля концентраций, образованного 9-ю промышленными источниками (промышленная зона одного из городов Украины), которые имеют различные эмиссионные и технологические особенности выброса примеси (таблица 1). Поля приземных концентрации получены для района  $\sim 10 \times 10$  км с шагом расчетной сетки  $0.25 \times 0.25$  км.

Суммарные поля концентраций рассчитывались с помощью формул (6, 7, 8, 9). Метеорологические условия (класс устойчивости, скорость и направление ветра, температура воздуха, шероховатость поверхности, орфографические особенности и др. параметры) получены по данным метеорологической модели. Эмиссионные характеристики взяты из данных инвентаризации источников загрязнения и приведены в таблице 1.

Табл. 1 – Технические параметры источников для моделирования суммарного поля концентрации в промышленной зоне.

| № ист. | Мощн-ть выброса ист-ка $Q$ , кг/с | Высота источника $H$ , м | Диаметр устья $d$ , м | Ск-ть газа в устье $w$ , м/с | Темп-тура газов $T_{\text{газ}}$ , °C |
|--------|-----------------------------------|--------------------------|-----------------------|------------------------------|---------------------------------------|
| 1      | 2,5                               | 60                       | 1,8                   | 10                           | 90                                    |
| 2      | 0,1                               | 28                       | 0,84                  | 5                            | 40                                    |
| 3      | 0,5                               | 50                       | 1,5                   | 4                            | 50                                    |
| 4      | 0,1                               | 10                       | 0,3                   | 6                            | 40                                    |
| 5      | 0,2                               | 10                       | 0,3                   | 5                            | 30                                    |
| 6      | 2,5                               | 62                       | 1,86                  | 15                           | 100                                   |
| 7      | 30,0                              | 200                      | 6,0                   | 20                           | 130                                   |
| 8      | 3,0                               | 100                      | 3                     | 12                           | 90                                    |
| 9      | 4,5                               | 100                      | 3                     | 15                           | 100                                   |

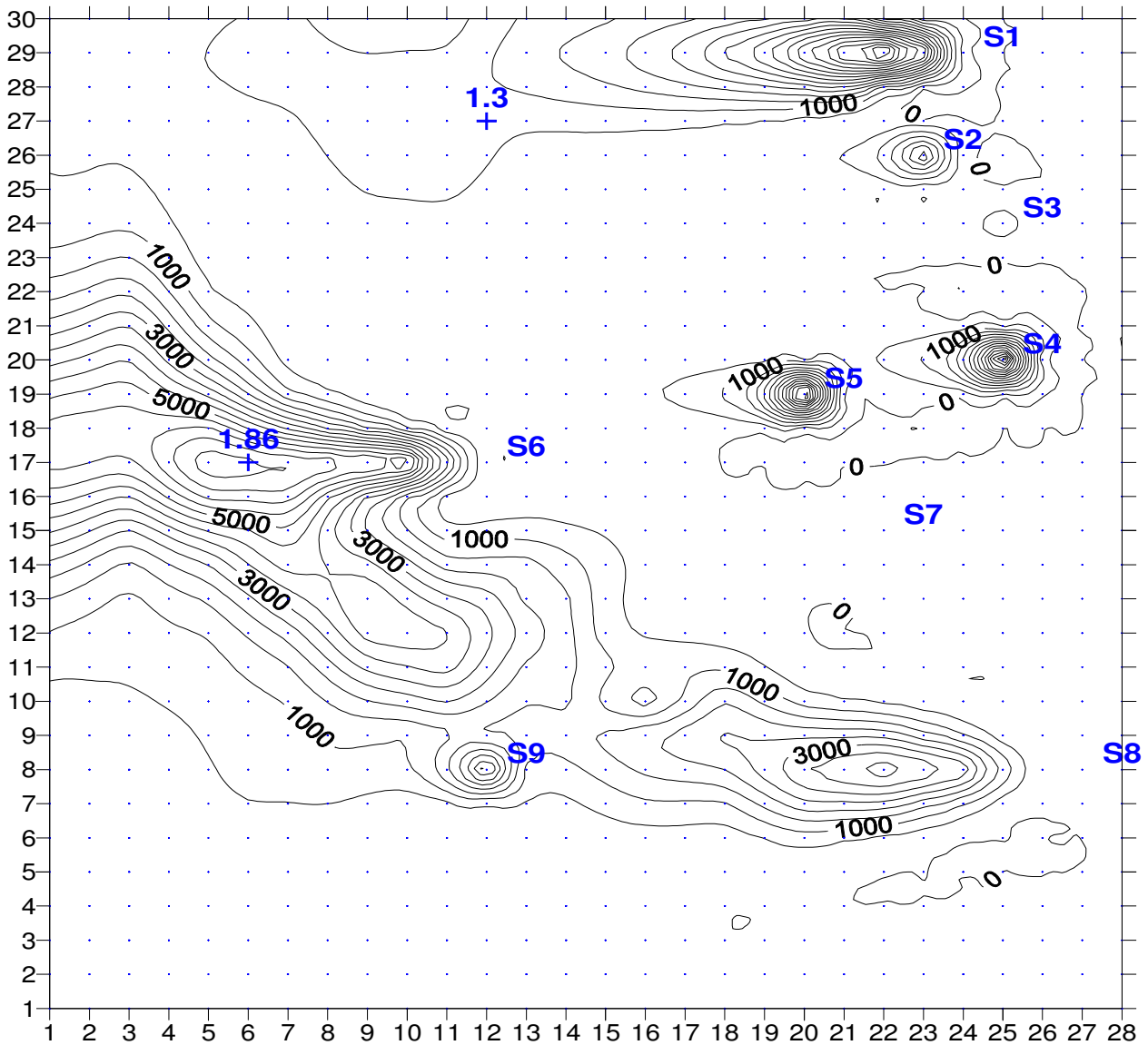


Рис. 1 - Поля концентраций, образованные 9- тью промышленными источниками (S – положение источников, + – пункты мониторинга загрязнения воздуха)

Для модельных оценок полей концентрации были выбраны метеорологические условия с интенсивно развитой турбулентностью, т.е. неблагоприятные метеорологические условия, ведущие к образованию максимальных приземных концентраций от высоких точечных промышленных источников.

Метеорологические условия: июнь, 14-15 час. местного времени, класс устойчивости по классификации Паскуилла *B-C* (слабая и умеренная неустойчивость), скорость ветра 3-4 м/с на уровне 10 м, направление ветра  $90^{\circ}$ - $110^{\circ}$  и  $120^{\circ}$ - $130^{\circ}$  на уровне 1,5 км, температура  $23^{\circ}\text{C}$  на уровне 2 м, поверхность без плотной городской застройки и слабо выраженной орографией. Шероховатость  $Z_0 \approx 0,5\text{м}$ .

В пункте мониторинга ( $x=6, y=17$ ) фактическая концентрация оказалась равной  $0,96$  мг/куб.м ( $q_f = 1,86 \cdot ПДК$ ). Газовоздушный факел от каждого  $k$ -того источника «накрывал» контрольный пункт и расчетные концентрации составили  $q_4 = 0,0011$  мг/куб.м,  $q_6 = 0,34$  мг/куб.м,  $q_7 = 0,3736$  мг/куб.м,  $q_8 = 0,003$  мг/куб.м. Таким образом, суммарное действие источников № 4, 6, 7, 8 создало в контрольном районе концентрацию  $q_m = 0,7177$  мг/куб.м ( $q_m = 1,43 \cdot ПДК$ ). Различия фактических и расчетных значений можно объяснить как за счет погрешностей модельных оценок, так и за счет наличия неучтенных источников, или влиянием источников, находящихся за пределами расчетной зоны.

Концентрации поллютанта от 6-го и 7-го источников практически равны и, следовательно, вклад этих источников в суммарное загрязнение воздуха одинаков. Приземные концентрации каждого источника не превышают ПДК, но наличие опасной ситуации  $s_i \in S_D$  в этом районе ( $q_i > q_{ПДК}$ ) требует, например, введения системы управления загрязнением воздушного бассейна. В этом случае критерий, который можно применить для управления системой  $S$  является фактор разбавления примеси.

Используя формулу (4), сделаем переоценку вклада каждого источника

$$G_7 = 40000 \cdot (0,00072)^{-1} \cdot 1416 \approx 7,9 \cdot 10^9, \text{ м}^3$$

$$G_8 = 3000 \cdot (0,00072)^{-1} \cdot 1980 \approx 0,81 \cdot 10^9, \text{ м}^3$$

$$G_6 = 2500 \cdot (0,00072)^{-1} \cdot 583 \approx 0,2 \cdot 10^9, \text{ м}^3$$

$$G_4 = 100 \cdot (0,00072)^{-1} \cdot 1666 \approx 0,023 \cdot 10^9, \text{ м}^3$$

Здесь  $M_k$ , г/с;  $q_i$ , г/м<sup>3</sup>;  $\tau_k$ , с.

Объем газовоздушной смеси  $G_k$ , поступающий в единицу времени в пункт измерения от каждого источника, характеризует ту часть массы примеси, выбрасываемую источником, которая и формирует суммарную концентрацию в данной точке.

Следовательно, вклады каждого источника таковы

$$G_7 = 88,4\%; G_8 = 9,07\%; G_6 = 2,24\%; G_4 = 0,26\% .$$

Поэтому “управление работой” источника №7 (наиболее мощного) в сторону уменьшения его мощности  $M_7$  выброса примерно на 5-8% обеспечит уменьшение концентрации в районе до приемлемых норм  $q_i \approx q_{ПДК}$

### Заключение

Обосновывается предложение о включении в состав “Мониторинга качества атмосферного воздуха” вычислительных центров, моделирующих загрязнение атмосферы в районах с высокой антропогенной нагрузкой. Такие ВЦ позволять “восстанавливать” в режиме реального времени поля концентраций вредных примесей, создаваемые различными источниками контролируемого района. Сопоставление расчетных значений с данными “прямого” мониторинга позволят придать “Мониторингу качества атмосферного воздуха” новый информационный и научный уровень, соответствующий современным системам контроля качества окружающей среды.