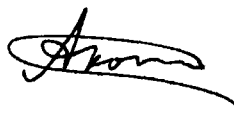


На правах рукописи



Кожевников Александр Сергеевич

**ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА  
ДИФФУЗИЮ ПРИМЕСЕЙ ОТ НЕОРГАНИЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ  
БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ**

Специальность 25.00.30 – *Метеорология, климатология, агрометеорология*

**Автореферат**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата географических наук

Пермь 2005

Работа выполнена на кафедре метеорологии и охраны атмосферы Пермского государственного университета

**Научный руководитель:** кандидат географических наук, доцент  
Владимир Александрович Шкляев

**Официальные оппоненты:** доктор географических наук, профессор  
Анатолий Павлович Лепихин  
кандидат физико-математических наук, доцент  
Владимир Николаевич Иванов

**Ведущая организация:** Кафедра метеорологии, климатологии  
и экологии атмосферы  
Казанского государственного университета

•

Защита состоится 22 декабря 2005 г. в 13 час. 30 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.189.10 при Пермском государственном университете по адресу: 614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15, зал заседаний Ученого Совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Пермского государственного университета.

Автореферат разослан 18 ноября 2005 г.

E-mail: askogevnikov@mail.ru

Ученый секретарь диссертационного совета,  
кандидат географических наук, доцент

 Т.А. Балина

2006-4  
25365

2241559  
3

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** В результате производственной деятельности в атмосферу выбрасывается большое количество газообразных и твердых веществ. Опасность воздействия антропогенных источников на природную среду зависит от массы выброса загрязняющих веществ (мощности источника) и от их класса опасности. Анализ стационарных источников, действующих в промышленности, показывает, что мощность выбросов, составляющая несколько килограммов за секунду, может считаться большой. Количество подобных источников в крупных городах обычно не превышает 5% от общего количества источников, но на них приходится более 90% всех выбросов. Примерами таких источников могут служить крупные промышленные узлы, полигоны твердых бытовых отходов (ТБО), аварии, связанные со взрывом емкостей с горючими веществами, стендовые испытания и уничтожение ракетных двигателей с твердым топливом (РДТТ).

Для оценки современного состояния окружающей природной среды и тенденций ее изменений необходима регулярная информация, получаемая на основе мониторинга. При разработке и создании систем мониторинга за воздействием источников большой мощности следует учитывать величину зон возможного загрязнения, так как при их значительном размере система мониторинга должна охватывать большую территорию, что требует существенных финансовых затрат. В этом случае на первый план выходит разработка моделей и методик оценки загрязнения окружающей среды.

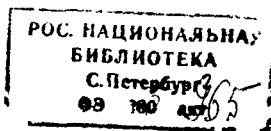
На перенос, рассеивание и выпадение вредных веществ, выбрасываемых источниками большой мощности, оказывают влияние: различные метеорологические факторы (направление и скорость ветра, атмосферные осадки, условия рассеивания примеси в атмосфере, которые характеризуются температурной стратификацией атмосферы), характеристики самого источника воздействия (высота, площадь, температура выбрасываемых загрязняющих веществ), условия рельефа местности.

Существующие оценки зон воздействия строятся на расчете максимальных концентраций, определяемых в соответствии с ОНД-86, и не учитывают многообразия фактически наблюдаемых погодных условий. Кроме того, данная методика не позволяет оценивать концентрации от мгновенных и высотных источников.

**Цель работы** заключается в оценке роли комплекса метеорологических условий при исследовании диффузии загрязняющих веществ, а также размеров зоны загрязнения от источников выбросов большой мощности (на примере открытого стенда утилизации РДТТ и полигона ТБО).

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**:

- разработка модели распространения загрязняющих веществ от высотных источников большой мощности (на примере облака продуктов сгорания РДТТ), учитывающей многообразие метеорологических условий;



- оценка выпадений и концентраций примесей от облака продуктов сгорания РДТТ на основе разработанной модели при различных метеорологических условиях;
- разработка методики расчета средних концентраций загрязняющих веществ, выбрасываемых наземными источниками большой мощности (на примере полигона ТБО), основанной на использовании климатической информации для данного региона;
- оценка концентраций примесей, поступающих от полигона ТБО, на основе разработанной методики;
- разработка рекомендаций по снижению неблагоприятного воздействия исследуемых источников на окружающую среду и по организации мониторинга за воздействием данных источников.

**Информационная база.** Работа выполнялась с использованием архива данных: станции Б. Савино (количество облачности, направление и скорость приземного ветра за 1996-2002 гг.), Пермского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (результаты температурно-ветрового зондирования за 1997-2001 гг.). Также в работе использованы данные отчета научно-исследовательского института полимерных материалов (г. Пермь) и Естественнонаучного института при Пермском государственном университете.

**Научная новизна:**

- разработана траекторная модель регионального переноса облака примесей, образующихся в результате сжигания РДТТ;
- предложена методика расчета средних концентраций примесей от наземного площадного источника, которая основана на совместном учете состояния устойчивости атмосферы и ветрового режима территории;
- проведена оценка влияния комплекса метеоусловий на перенос, рассеивание и осаждение загрязняющих веществ от источников большой мощности, а также оценены зоны возможного загрязнения окружающей среды рассматриваемыми источниками.

**Практическая значимость** работы определяется возможностью использования ее результатов при разработке системы экологического мониторинга за воздействием рассматриваемых источников на окружающую среду органами контроля качества атмосферного воздуха. Предложенные в работе модели расчета загрязнения окружающей среды можно использовать для исследования воздействия источников подобного типа на компоненты природной среды. Разработанные рекомендации по регулированию выбросов в периоды неблагоприятных метеорологических условий помогут снизить отрицательное воздействие источника на окружающую среду.

С учетом результатов выполненной работы возможна модернизация программы спецкурса «Фоновый мониторинг атмосферного воздуха».

Выполненная работа нашла научно-практическую реализацию в отчетах грантов РФФИ-Урал (02-05-96401) за 2002-2003 гг., Федерального агентства по образованию (А04-2 13-489) за 2004-2005 гг. и научно-технической программы

«Развитие научного потенциала высшей школы» (код проекта 49-184) за 2004-2005 гг.

Личный вклад автора в диссертационную работу заключается в обосновании актуальности темы диссертации, определении цели и задач исследования, разработке модели переноса примесей от облака продуктов сжигания РДТТ и методики расчета средних концентраций, проведении расчетов и анализе полученных данных, а также в формулировке основных выводов диссертации.

Основные положения и результаты диссертационной работы были представлены на:

1) IX Межвузовской конференции «Экология: Проблемы и пути решения» (г. Пермь, 2001 г.); 2) Международной научной конференции «Перспективы развития естественных наук в высшей школе» (г. Пермь, 2001 г.); 3) Международной научно-практической конференции «География и регион» (г. Пермь, 2002 г.); 4) Научной конференции, посвященной 125-летию основания Томского государственного университета и 70-летию геолого-географического факультета (г. Томск, 2003 г.); 5) региональной научно-практической конференции «Проблемы географии Урала и сопредельных территорий» (г. Челябинск, 2004 г.); 6) 3-й Международной научно-практической конференции «Международные и отечественные технологии освоения природных минеральных ресурсов и глобальной энергии» (г. Астрахань, 2004 г.); 7) Всероссийской научной конференции, посвященной 200-летию Казанского университета (г. Казань, 2004 г.); 8) XIII Всероссийской научно-практической конференции «Экология: проблемы и пути решения» (г. Пермь, 2005 г.); 9) VIII Всероссийском научном совещании по прикладной географии (г. Иркутск, 2005 г.); 10) 1-м Международном форуме (6-й Международной конференции) «Актуальные проблемы современной науки» (г. Самара, 2005 г.).

Результаты исследований, выполненных по теме диссертации, изложены в 13 публикациях.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и приложения. Основной текст изложен на 112 страницах. Работа содержит 15 рисунков, 14 таблиц, список литературы из 121 наименования и приложения на 66 страницах.

## ОСНОВНЫЕ ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Разработка модели распространения загрязняющих веществ, образующихся при утилизации РДТТ на открытом стенде, базируется на построении траектории перемещения облака и расчете осаждения из него примесей.

В качестве основы модели рассеивания и выпадения загрязняющих веществ от мгновенного высотного источника в данной работе использовалась траекторная модель лагранжевого типа. Подобные модели достаточно часто

применяются в оперативной практике Метеорологических синтезирующих центров («Восток», «Запад»), например, для расчетов переноса соединений серы, тяжелых металлов и стойких органических загрязнителей, для региона, охваченного сеткой ЕМЕП с шагом 50 или 150 км. Модель предназначена для расчетов переноса примесей от непрерывных источников и в ней используются осредненные коэффициенты диффузии. Для расчетов переноса облака продуктов сгорания РДТТ (мгновенный источник) эта модель была адаптирована к более детальному учету метеорологических условий. Необходимо отметить, что важной задачей при разработке модели является выбор пространственного шага. Первоначально предполагалось производить вычисления выпадений в узлах сетки с шагом 6,25 км. Однако, как показали предварительные расчеты, такая сетка в начале траектории не позволяет детализировано описать процесс рассеивания облака. При удалении от источника на десятки и сотни километров шаг такой сетки становится, наоборот, слишком мелким и необходимости в большой густоте узлов сетки на расстояниях регионального масштаба нет. Кроме того, при использовании сетки возрастает объем вычислений (приходится производить вычисления по всей сетке). Поэтому в данной работе вычислялись выпадения примесей вдоль траектории. От изначальной модели был использован сам принцип разбивки траектории на отдельные порции (он также был модифицирован), а также вычисление выпадений примесей на основе функций сухого и мокрого выведения (формулы (4) и (5)).

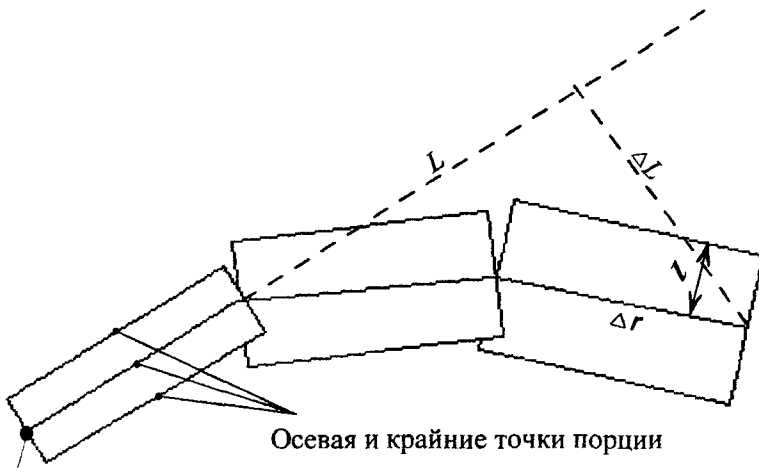
При построении указанных моделей учитываются процессы химических преобразований примесей, выведения их из атмосферы за счет осаждения на подстилающую поверхность, вымывания осадками и т. п. При этом следует помнить, что определение параметров химических превращений, коэффициентов турбулентного рассеяния, сухого и мокрого выпадения, а также скоростей осаждения примесей на подстилающей поверхности является сложной экспериментальной и теоретической проблемой. Весьма сложен также и объективный анализ полей наблюдаемых скоростей ветра, которые используются в моделях для определения прямых и обратных траекторий распространения примесей. Поэтому оценки, полученные с помощью моделей, могут носить лишь ориентировочный характер.

Рассмотрим особенности построения траектории и вычисления выпадений и концентраций примесей, образующихся в результате сжигания РДТТ. Ракетные двигатели в процессе их утилизации представляют собой мгновенные источники большой мощности. Выбросы от таких источников формируют облако, поднимающееся на высоту 1-2 км за сравнительно короткий интервал времени (несколько мин). Измеренные горизонтальные размеры облака после стабилизации его подъема зависят от массы сгоравшего двигателя и составляют сотни метров. Масса образующихся веществ может достигать десятков тонн. В данной работе производились вычисления выпадений и концентраций хлористого водорода и частиц окиси алюминия (окись алюминия представлена частицами размером до 160 мкм), как наиболее массовых продуктов сгорания. При этом частицы окиси алюминия размером менее 10 мкм считались легкими, а от 10

до 160 мкм – тяжелыми. Сформировавшееся облако, попадая в зону ослабленного турбулентного обмена, характерную для верхней части пограничного слоя и свободной атмосферы, может переноситься на расстояния, сравнимые с региональным масштабом. Поэтому при расчете траектории перемещения облака необходимо использовать данные о ветре на высоте.

Итак, предложенный нами способ построения траектории перемещения облака заключается в следующем. По карте АТ<sub>850</sub> строится траектория частицы на 12 ч. Если конечная точка не вышла за пределы исследуемой территории (в данной работе рассматривается Пермская область), то производится дальнейшее построение траектории на 24 ч по прогностическим или фактическим картам. Построение траектории производится не более чем на 36 ч, то есть не более трех раз. После построения траектории по карте определяется отклонение траектории от прямолинейной. Для этого из конечной точки траектории восстанавливается перпендикуляр на касательную к изогипсе, проходящей через начальную точку (рис. 1). Вычисляется расстояние от начальной точки по прямой до перпендикуляра ( $L$ ) и отклонение от этой прямой траектории ( $\Delta L$ ). Это необходимо для введения поправки в изменение направления ветра  $\Delta\alpha = \frac{\arctg(\Delta L / L)}{t} \Delta t$ , где  $t$  – время на которое строится

траектория (12 ч),  $\Delta t$  – шаг по времени, который был принят равным 30 мин. Далее по кривизне изогипс вдоль траектории (циклоническая или антициклоническая) определяется знак поправки на изменение направления ветра. Поправка на отклонение траектории и кривизна изогипс определяются для каждого 12-ти часового отрезка.



Источник

Рис. 1. Пример построения криволинейной траектории движения облака

Траектория движения облака разбивается на последовательные порции в виде прямоугольников (рис.1). Длина порции зависит от шага по времени  $\Delta t$  и скорости переноса. Ее ширина определяется в зависимости от расстояния до источника вдоль оси движения как удвоенный радиус облака. Радиус облака рассчитывается на основе соотношения:

$$R_n = R_0 + 2\sigma_i, \quad (1)$$

где  $R_0$  – начальный радиус облака (при  $t = 0$ ). Длина порции равна  $\Delta r$ .

Вычисляются координаты осевых (центров порций) и крайних точек порций в зависимости от скорости и направления ветра. Поскольку в ПСА структура ветра неоднородна и приземный ветер будет отличаться от высотного, то с учетом правого поворота ветра вычисляются приземные координаты выпадений.

Масса сухих и мокрых выпадений хлороводорода и «легких» частиц алюминия вычисляется соответственно по формулам:

$$D_n = m_n(1 - \zeta_d), \quad (2)$$

$$W_n = m_n(1 - \zeta_w), \quad (3)$$

где  $m_n$  – масса примеси в порции,  $\zeta_d$  – функция сухого выведения,  $\zeta_w$  – функция выведения с осадками.

$$\zeta_d(\tau) = \operatorname{erf} \frac{h}{2\sqrt{K_z\tau}} + \operatorname{erfc} \frac{h + 2V_d\tau}{2\sqrt{K_z\tau}} \exp\left(\frac{V_d h + V_d^2 \tau}{K_z}\right), \quad (4)$$

где  $\tau = r/V$  – время переноса облака или возраст примеси,  $r$  – расстояние вдоль траектории от источника,  $V$  – скорость ветра,  $V_d$  – скорость сухого осаждения примеси на подстилающую поверхность,  $K_z$  – коэффициент вертикальной турбулентной диффузии,  $h$  – высота источника примеси.

$$\zeta_w(\tau) = \exp(-\Lambda) I^\alpha(\tau), \quad (5)$$

где интенсивность осадков  $I(x, y, t)$  зависит от координат  $x, y$  и реального времени  $t$ , а параметры  $\Lambda$  и  $\alpha$  – от типа примеси.

Сухие выпадения «тяжелых» частиц определяются исходя из массы частиц каждого размера согласно фракционному составу. Для этого по формуле Стокса определяется скорость падения частиц и при известной высоте поднятия облака и скорости перемещения рассчитываются расстояния, на которых происходит выпадение. Мокрые выпадения тяжелых частиц вычисляются по следующим формулам.

$$W_1 = m_0 - D_1 - m_1; \quad W_{2, N} = m_{n-1} - m_n - D_n \zeta_w, \quad (6)$$

где

$$m_1 = (m_0 - D_1) \zeta_w; \quad m_{2, N} = (m_{n-1} - D_n \zeta_w) \zeta_w, \quad (7)$$

где  $m_0$  – начальная масса примеси, поступившей в атмосферу.

Для тяжелых частиц учитывается наличие упорядоченных вертикальных движений, путем расчета скорости этих движений и введения соответствующей поправки в скорость осаждения примеси, рассчитанной по формуле Стокса.

Зная общую массу примеси, выпавшую из данной порции и площадь этой порции можно рассчитать среднее значение выпадений. После этого предполагается, что примесь в облаке распределена по нормальному закону с максимумом в центре облака. На краях облака значения выпадений равны 10 % от максимального значения.

После вычисления выпадений рассчитываются мгновенные приземные концентрации примесей в воздухе и в осадках по формулам:

$$c = D / V_d / 1200, \quad (8)$$

$$c_{ос} = W / I / 1200. \quad (9)$$

В этих формулах производится деление на 1200 сек. для того чтобы привести значение концентрации к 20-ти минутному интервалу, которому соответствует значение ПДК<sub>м.р.</sub>.

## 2. Предложенная методика расчета средних концентраций примесей от наземных источников позволяет учесть совместный вклад состояния устойчивости атмосферы и ветрового режима территории.

Полученная нами методика основана на расчете повторяемостей скоростей ветра и классов устойчивости для конкретных направлений ветра, что позволяет при наличии климатической информации построить поля средних концентраций примесей. Расчеты средних концентраций производились на примере полигона ТБО.

Для расчета средних концентраций сначала рассчитываются удельные мгновенные концентрации для каждого класса устойчивости Пэскуила-Гиффорда при скорости ветра  $U = 1$  м/с по известной формуле:

$$C = \frac{1}{\pi \sigma_y \sigma_z U} \exp \left[ - \left( \frac{y^2}{2\sigma_y^2} + \frac{H^2}{2\sigma_z^2} \right) \right], \quad (10)$$

где  $C$  – концентрация примеси ( $\text{мг}/\text{м}^3$ ),  $\sigma_y$  – дисперсия примеси по горизонтали,  $\sigma_z$  – дисперсия примеси по вертикали,  $U$  – скорость ветра ( $\text{м}/\text{с}$ ),  $y$  – расстояние от оси факела в поперечном ветру направлении,  $H$  – высота источника ( $\text{м}$ ). Дисперсии определяются по известным формулам. Для использования формулы (10), полученной для точечного источника, полигон, являющийся площадным источником, был представлен в виде суммы точечных источников, равномерно распределенных по его площади. Полигон размерами  $700 \times 700$  м был разделен на 121 точечный источник ( $11 \times 11$ ) с расстоянием между источниками 70 м. Концентрация в определенной точке представлялась в виде суммы концентраций от всех точечных источников.

Расчет средней концентрации примеси на определенном расстоянии от источника для данного направления ветра рассчитывается следующим образом:

$$\bar{C}_{jd_n} = \bar{C}'_{d_n} Q_j, \quad (11)$$

где  $\bar{C}_{jd_n}$  – средняя концентрация при направлении ветра  $d_n$  для  $j$ -й примеси,  $\bar{C}'_{d_n}$  – удельная средняя концентрация ( $Q = 1$ ) при направлении ветра  $d_n$ ,  $Q_j$  – масса выбросов  $j$ -й примеси.

$$\bar{C}'_{d_n} = \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^N C'_k f_{kU_i d_n}, \quad (12)$$

где  $C'_k$  – удельная концентрация для  $k$ -го класса устойчивости, рассчитанная по формуле (10),  $K = 6$ ,  $f_{kU_i d_n}$  – повторяемость в долях единицы скоростей ветра (включая штили), отмечавшихся для данного класса устойчивости и направления ветра,  $N$  – максимальное значение скорости ветра, которая отмечалась для данного класса устойчивости.

$$f_{kU_i d_n} = f'_{kU_i d_n} + f_{kU_0 d_n}, \quad (13)$$

где  $f'_{kU_i d_n}$  – повторяемость в долях единицы скоростей ветра (без учета штилей), отмечавшихся для  $k$ -го класса устойчивости и данного направления ветра,  $f_{kU_0 d_n}$  – повторяемость в долях единицы случаев штиля при  $k$ -м классе устойчивости и данном направлении ветра.

$$f'_{kU_i d_n} = \sum_{i=1}^N P_{kU_i d_n} / P_{d_n} / U_i, \quad (14)$$

где  $P_{kU_i d_n}$  – число случаев  $i$ -той скорости ветра при  $k$ -том классе устойчивости и данном направлении ветра,  $P_{d_n}$  – общее число случаев (включая штили) для данного направления ветра,  $U_i$  – скорости ветра ( $U_i = 1, 2 \dots N$ ).

$$f_{kU_0 d_n} = (P_{kU_0} / 36) / P_{d_n} / U_0, \quad (15)$$

где  $P_{kU_0}$  – число случаев штилей для  $k$ -того класса устойчивости. Для скорости ветра равной нулю формула (10) не используется, поэтому  $U_0$  было принято равным 0,2 м/с. Поскольку при штиле направление ветра не может быть определено, число случаев штилей было равномерно распределено по всем направлениям. то есть:  $P_{kU_0} / 36$  – в случае если имеется климатическая информация по направлению ветра через каждые  $10^\circ$ .

$$P_{d_n} = P'_{d_n} + P_{U_0} / 36, \quad (16)$$

где  $P'_{d_n}$  – общее число случаев для данного направления ветра без учета штилей,  $P_{U_0}$  – общее число случаев штиля.

Расчет средних концентраций по рассмотренной методике может производиться для различных периодов осреднения. Нами были рассчитаны средние концентрации для сезонов и в целом за год.

Для расчета необходимых повторяемостей в формулах (12)-(16) были использованы данные АМСГ Б.Савино за 7 лет (1996-2002 гг.). Опишем процедуру отбора метеоданных для расчета повторяемостей.

Был сформирован ряд ежечасных наблюдений с января 1996 г. по декабрь 2002 г. Ряд содержит следующие данные, необходимые для расчетов: дату, срок, количество облачности, направление (через  $10^\circ$ ) и скорость приземного ветра. Из полученного ряда были сделаны выборки для разных классов устойчивости, согласно условиям инсоляции и скорости приземного ветра. Далее были сформированы выборки по сезонам. В полученных сезонных рядах рассчитывалась повторяемость направлений ветра через каждые  $10^\circ$ . Затем для каждого направления рассчитывалась повторяемость скоростей ветра по каждому классу устойчивости. Общая повторяемость определенного класса для данного направления представляет собой сумму повторяемостей скоростей ветра, находящихся в пределах данного класса. Таким образом, предложенная методика расчета средних концентраций позволяет учесть совместный вклад состояния устойчивости атмосферы и скорости ветра в определенном направлении. Такой способ расчета повторяемостей скоростей ветра позволяет более точно учесть вклад этого метеопараметра в условия рассеивания, по сравнению с простым расчетом средней скорости ветра в данном направлении.

**3. Предложенные методы расчета концентраций примесей позволяют оценить влияние различных метеорологических условий на уровни воздействия на окружающую среду источниками большой мощности.**

*Влияние метеорологических условий на уровни воздействия на окружающую среду облаком продуктов сжигания, образующимся при утилизации РДТТ.*

Принципиальных отличий в полях концентраций хлороводорода и легких частиц окиси алюминия не отмечается, однако, существенные отличия имеет характер выпадений тяжелых частиц окиси алюминия. Это связано с тем, что крупные тяжелые частицы, имея высокую скорость оседания, быстро выводятся из атмосферы в ближней от источника зоне.

Проанализировано влияние скорости ветра, устойчивости атмосферы, упорядоченных вертикальных движений (УВД) и осадков на выпадения и концентрации примесей.

*Скорость ветра.* При любых других условиях уменьшение скорости ветра приводит к увеличению приземных концентраций примесей. Слабая скорость ветра на высоте переноса приводит к тому, что облако рассеивается вблизи источника, создавая повышенные концентрации. При скорости переноса 3 м/с и менее приземные концентрации примесей превышают ПДК<sub>м.р</sub> при классах устойчивости от В до F и при скорости 2 м/с и менее при классе А.

*Устойчивость атмосферы.* Для оценки влияния устойчивости атмосферы на уровни загрязнения примесями, поступающими из облака продуктов сжигания, были рассчитаны выпадения и концентрации примесей при различных классах устойчивости Пэскуила-Гиффорда. При этом в расчетах использовались скорости ветра наиболее характерные для каждого класса.

Анализ результатов показал, что превышение ПДК<sub>м.р</sub> по НС1 и легким частицам алюминия вблизи источника создается при классе А. Максимум

концентраций по хлороводороду (рис. 2) при этом отмечается на расстоянии около 40 км от источника и составляет  $0,46 \text{ мг/м}^3$  ( $2,3 \text{ ПДК}_{\text{м.р}}$ ); по окиси алюминия на расстоянии около 50 км, максимум составляет  $0,31 \text{ мг/м}^3$  ( $3,1 \text{ ПДК}_{\text{м.р}}$ ).

Повышенные концентрации примесей при классе А объясняются интенсивным вертикальным перемешиванием и, соответственно, повышенным поступлением примесей из облака к подстилающей поверхности при малой скорости переноса. Отсутствие высоких концентраций при устойчивой стратификации (классы Е и F) связано с тем, что из облака, перемещающегося на большой высоте, при слабом турбулентном обмене, поступление загрязняющих веществ к земной поверхности затруднено. В этом случае облако может перемещаться на большие расстояния, сохраняя небольшие размеры, до тех пор, пока не изменятся условия устойчивости. При этом на больших расстояниях от источника могут возникнуть повышенные концентрации примесей.

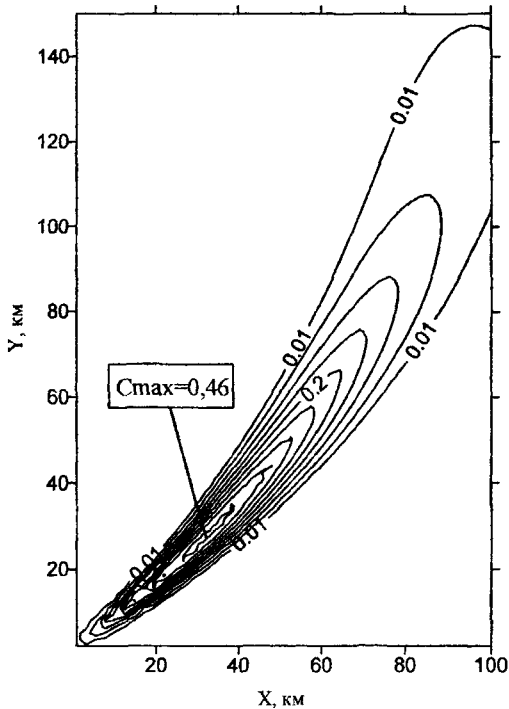
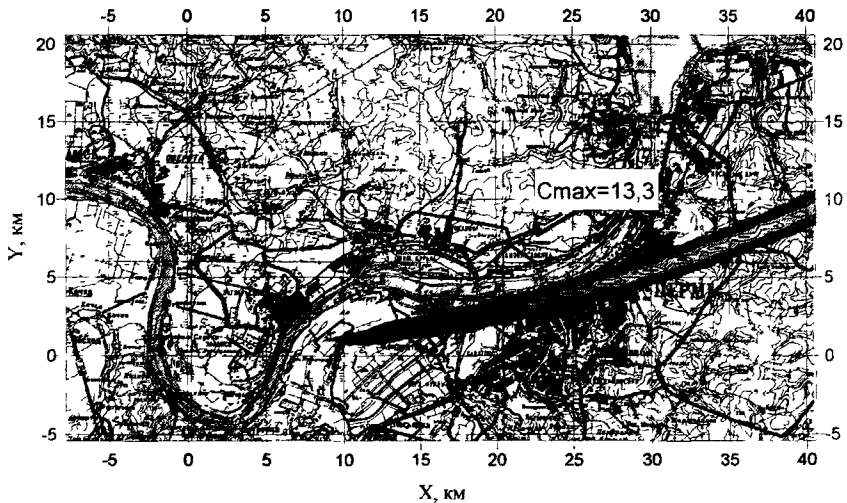


Рис. 2. Поле приземной максимально-разовой концентрации хлористого водорода ( $\text{мг/м}^3$ ),  $\text{ПДК}_{\text{м.р}} = 0,2 \text{ мг/м}^3$ . Класс устойчивости А

Значительная масса тяжелых частиц алюминия быстро осаждается вблизи источника. При малых горизонтальных размерах облака в начале траектории выпадения на единицу площади будут высокими, поэтому практически при всех условиях отмечается превышение ПДК<sub>м.р.</sub>. Наибольшая максимальная концентрация отмечается при классе D (при скорости приземного ветра 1 м/с) и составляет 0,29 мг/м<sup>3</sup> (2,9 ПДК<sub>м.р.</sub>) на удалении от источника на расстоянии около 200 м.

Наихудшие условия, при которых создаются наибольшие концентрации примесей, отмечаются при классе устойчивости E и скорости переноса 0,5 м/с (то есть при очень слабом ветре, практически штиле). Как видно из рис. 3, максимум концентрации хлороводорода отмечается на удалении около 33 км от источника и составляет 13,3 мг/м<sup>3</sup> (67 ПДК<sub>м.р.</sub>). Максимум концентрации легких частиц составляет 17,9 мг/м<sup>3</sup> (179 ПДК<sub>м.р.</sub>) и находится на удалении около 42 км от источника. Максимум концентрации тяжелых частиц находится в непосредственной близости от источника (в 30 м) и составляет 3,4 мг/м<sup>3</sup> (34 ПДК<sub>м.р.</sub>), при этом концентрация превышает ПДК<sub>м.р.</sub> до расстояния 1800 м. Таким образом, при отмеченных условиях, концентрации загрязняющих веществ могут во много раз превышать предельно-допустимые над центральными районами города.



**Рис. 3. Поле приземной максимально-разовой концентрации хлористого водорода над территорией г. Перми (мг/м<sup>3</sup>), ПДК<sub>м.р.</sub> = 0,2 мг/м<sup>3</sup>.  
Класс устойчивости E, скорость переноса 0,5 м/с**

*Упорядоченные вертикальные движения.* Наибольшее влияние УВД испытывают частицы с наименьшим диаметром (10 мкм). Влияние УВД на расстояния выпадения частиц размером более 10 мкм можно считать несущественным. Учитывая, что расчеты производились при достаточно

высокой скорости УВД в 100 гПа/12 ч, влияние вертикальных движений на уровни загрязнения можно считать незначительным.

*Осадки.* Поля мокрых выпадений хлороводорода и окиси алюминия значительно отличаются от полей сухих выпадений. В результате вымывания происходит более быстрое выведение примесей из атмосферы, чем при сухом осаждении. Максимумы выпадений находятся в ближайшей расчетной точке от источника, в случае, если в момент сжигания двигателя идут осадки. Для хлороводорода и окиси алюминия максимумы удалены от источника примерно на 10 км, для тяжелых частиц – на 600 м.

Чем выше интенсивность осадков, тем больше значение максимума выпадений. При этом, при удалении от источника, выпадения, наоборот, уменьшаются за счет выведения из облака значительной массы примесей в начале траектории. Такую закономерность можно проследить по полям выпадений – начиная с интенсивности осадков 10 мм/ч, изолинии выпадений принимают, практически, вид окружности, вместо вытянутого эллипса.

Анализ результатов показал также, что на территории области при интенсивности осадков 1 мм/ч выпадает около 87 % от начальной массы HCl и легких частиц  $Al_2O_3$ , а тяжелых частиц – 97 %. При интенсивности осадков 5 мм/ч и выше все вещества полностью выпадают на исследуемой территории.

Отметим, что используемая для расчетов модель позволяет на любом интервале времени вводить определенную интенсивность осадков.

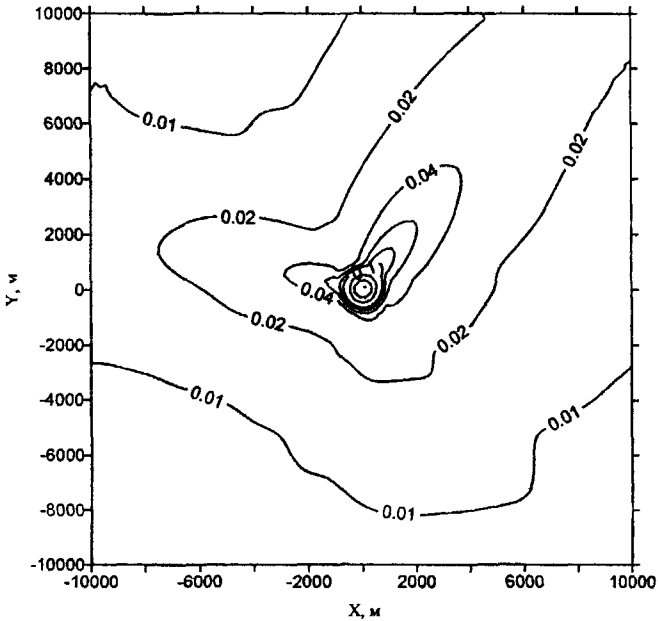
*Влияние метеорологических условий на уровни воздействия на окружающую среду примесями, поступающими от полигона ТБО.*

Анализ результатов расчетов мгновенных концентраций загрязняющих веществ, выбрасываемых полигоном, при разных классах устойчивости показал, что превышение ПДК<sub>м.р</sub> на границе санитарно-защитной зоны (СЗЗ) наблюдается только по аммиаку при классе устойчивости F. При этом превышение допустимой концентрации наблюдается до расстояния в 4 км от источника. Для расчета использовались характерные для каждого класса скорости ветра.

Нами были получены поля средних концентраций загрязняющих веществ, выбрасываемых полигоном, по сезонам и в целом за год. На рис. 4 представлено поле среднегодовых концентраций аммиака.

Анализ результатов показал, что по всем исследованным загрязняющим веществам превышение ПДК<sub>с.с</sub> на границе СЗЗ отсутствует. Для всех сезонов и в целом за год характерно вытягивание изолиний средних концентраций в северо-восточном, а также в западном направлениях. Это связано с большей повторяемостью юго-западного и восточного направлений ветра. Наибольшие концентрации на границе СЗЗ наблюдаются зимой, наименьшие – весной. Относительно высокие концентрации зимой объясняются большей суммарной повторяемостью классов D, E и F в этот сезон по сравнению с другими. При этих классах, особенно при E и F, создаются наиболее неблагоприятные условия для рассеивания примесей. Также высокие концентрации в зимний период можно объяснить большей повторяемостью штилей и отсутствием случаев с классом устойчивости A. Относительно низкие концентрации весной

объясняются следующими причинами: невысокая суммарная повторяемость классов D, E и F, наименьшая повторяемость штилей, большая повторяемость высоких скоростей ветра. Наибольшие приземные концентрации отмечаются по аммиаку, среднегодовой максимум на границе СЗЗ – 0,12 ПДК<sub>сс</sub>.



**Рис. 4. Поле приземных среднегодовых концентраций аммиака (доли ПДК<sub>сс</sub>)**

4. Разработанные рекомендации по организации мониторинга за исследуемыми источниками и выделение благоприятных и неблагоприятных метеоусловий позволяют снизить отрицательное воздействие на окружающую среду.

Учитывая результаты работы, можно предложить некоторые общие рекомендации по сжиганию двигателей, при соблюдении которых загрязнение окружающей среды будет наименьшим. Рекомендуется сжигать двигатели при следующих метеорологических условиях.

- направление ветра на высоте переноса: от 300° до 90° через север;
- скорость ветра на высоте переноса:  $\geq 7$  м/с;
- классы устойчивости: В, С и D с учетом вышеуказанных направления и скорости ветра;

- отсутствие осадков в районе стенда утилизации РДТТ и в направлении смещения облака до расстояния в 50 км. В этом случае максимум мокрых выпадений будет отмечаться за пределами городской территории;
- отсутствие приподнятой инверсии температуры.

Проведенные расчеты наземной траектории поднятия облака позволяют более точно определять положение точек замеров выпадений примесей при мониторинге за данным источником.

Полученные поля средних концентраций для полигона ТБО также позволяют правильно рассчитать точки для проведения мониторинга за данным источником. Учитывая результаты работы, точки замеров концентраций наиболее репрезентативно располагать в северо-восточном и западном от полигона направлениях.

### **Основные выводы диссертации**

1. Разработана траекторная модель переноса, рассеивания и осаждения загрязняющих веществ от высотных источников большой мощности (на примере стенда утилизации РДТТ) учитывающая влияние различных метеорологических параметров.

2. На основе разработанной модели оценены зоны и уровни возможного загрязнения окружающей среды облаком продуктов сжигания РДТТ.

3. Получена методика расчета средних концентраций загрязняющих веществ, выбрасываемых наземными источниками большой мощности (на примере полигона ТБО), которая позволяет учесть совместный вклад состояния устойчивости атмосферы и ветрового режима территории.

4. На основе разработанной методики получены поля средних концентраций примесей, поступающих от полигона ТБО.

5. Разработаны рекомендации по снижению неблагоприятного воздействия исследуемых источников на окружающую среду и по организации мониторинга за воздействием данных источников.

### **ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

1. Загрязнение атмосферного воздуха г. Перми и сопредельных территорий вредными примесями, поступающими с полигона твердых бытовых отходов (д. Софроны) // Экология: Проблемы и пути решения: Матер. IX Межвуз. конф. – Пермь, 2001. – С. 27-31 (соавтор Шкляева Л.С.).

2. Перенос вредных примесей с полигона твердых бытовых отходов (д.Софроны) на г. Пермь и сопредельные территории // Перспективы развития естественных наук в высшей школе. Экология. Предпринимательство в научной сфере: Тр. междунар. науч. конф. – Пермь: Перм. ун-т, ЕНИ при Перм. ун-те, 2001. – С. 175-180 (соавторы Л.С. Шкляева, В.А. Шкляев).

3. Аprobация методики расчета средних концентраций вредных веществ на примере промузла «Осенцы» // География и регион. Природопользование и

экологический мониторинг: Матер. междунар. науч.-практ. конф. / Пермь: Перм. ун-т, 2002. – С. 204-208 (соавторы Л.С. Шкляева, В.А. Шкляев).

4. Характеристика инверсий температуры в г. Перми для целей прогноза неблагоприятных метеорологических условий // Проблемы геологии и географии Сибири: Матер. Всерос. науч. Конф. / Томск: Томский ун-т, 2003. – С. 188-189.

5. Расчет возможных сценариев прогнозирования масштабов загрязнения опасным веществом на одном из предприятий г. Перми // Проблемы геологии и географии Сибири: Матер. Всерос. науч. Конф. / Томск: Томский ун-т, 2003. – С. 238-239 (соавтор Л.С. Шкляева).

6. Моделирование регионального переноса примеси в атмосфере в результате аварий и катастроф техногенного и природного характера // Региональный конкурс РФФИ–Урал / Пермь: ПНЦ УрО РАН, 2003. – С. 300-304 (соавторы Шкляев В.А., Шварц К.Г., Костылева Н.В., Шкляева Л.С., Баскевич И.А.).

7. Моделирование регионального переноса примеси в атмосфере в результате аварий и катастроф техногенного и природного характера // Региональный конкурс РФФИ–Урал / Пермь: ПНЦ УрО РАН, 2004. – С. 246-249 (соавторы Шкляев В.А., Шварц К.Г., Костылева Н.В., Шкляева Л.С., Баскевич И.А.).

8. Учет вертикального распределения метеорологических элементов при перемещении загрязняющих веществ от источников большой мощности // Проблемы географии Урала и сопредельных территорий: Матер. регион. науч.-практ. конф. – Челябинск, 2004. – С. 49-52 (соавтор Шкляев В.А.).

9. Оценка выпадений хлороводорода из атмосферы при сжигании ракетных двигателей с твердым топливом // Международные и отечественные технологии освоения природных минеральных ресурсов и глобальной энергии: Матер. 3 междунар. науч.-практ. конф. / Астрахань: издательский дом «Астраханский университет», 2004. – С. 238-242 (соавтор Шкляев В.А.).

10. Оценка выпадения частиц примеси в результате сжигания ракетных двигателей с твердым топливом // Матер. Всерос. науч. конф., посвященной 200-летию Казанского университета / Казань: КГУ, 2004. – С. 419-421 (соавтор Шкляев В.А.).

11. Влияние метеорологических условий на перенос и рассеивание примесей от источников большой мощности // Экология: проблемы и пути решения: Матер. XIII Всерос. науч.-практ. конф. – Пермь, 2005. – С. 111-114 (соавтор Шкляев В.А.).

12. Оценка зон воздействия источников выбросов большой мощности с целью создания системы мониторинга за переносом и выпадением вредных веществ // Матер. VIII научного совещания по прикладной географии. – Иркутск, 2005. – С. 72-73 (соавтор Шкляев В.А.).

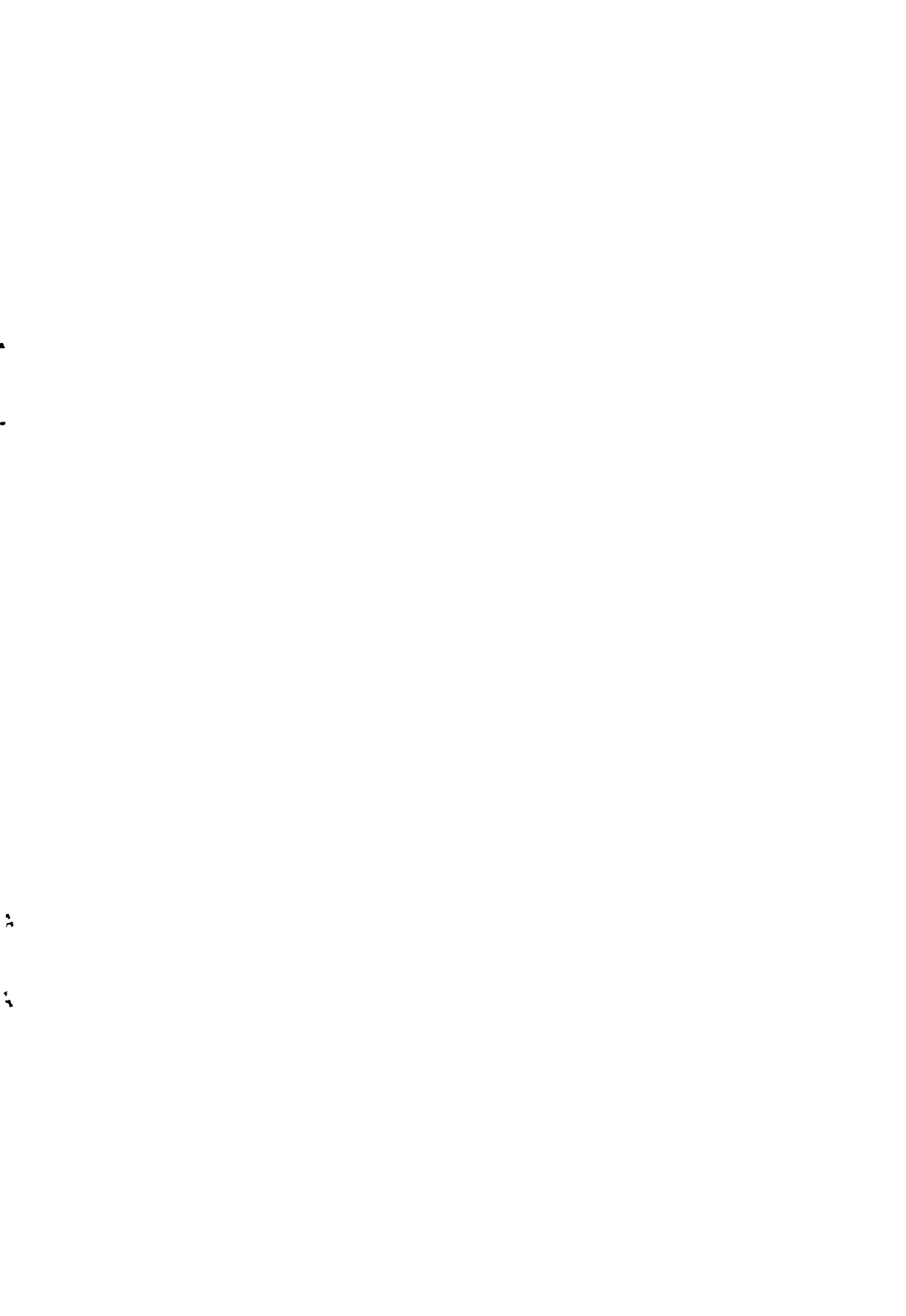
13. Создание системы мониторинга за рассеиванием и выпадением вредных веществ, образующихся при утилизации РДТТ // Актуальные проблемы современной науки. – Ч. 13. Экология: Тр. 1-го Междунар. Форума / Самара: изд-во СамГТУ, 2005. – С. 79-82. (соавтор Шкляев В.А.).

---

Подписано в печать 08.11.2005 г. Формат 60x84/16 Печать офсетная.

Усл. печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ *257*

Отпечатано на ризографе ООО Учебный центр «Информатика».  
614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15.



№ 24 102

РНБ Русский фонд

2006-4

25365