

### НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

$K=1,2$   $\eta=15$   $\mu=1000$   $\beta=0,1$   $w_s=0,03$ . Время расчёта 1 ч. Изолинии числа частиц на единице площади подстилающей поверхности.

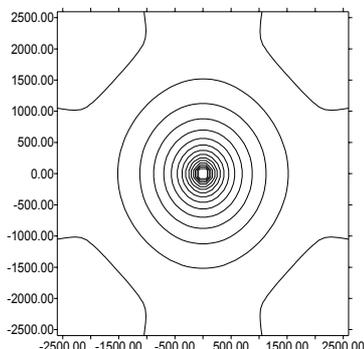


Рисунок 6 – Изолинии концентрации (ветра нет)

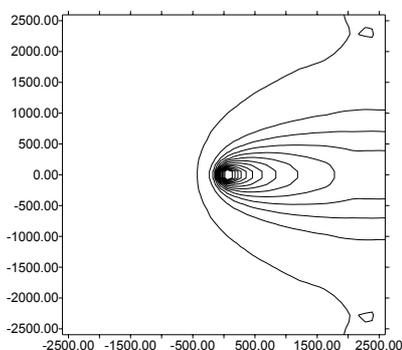


Рисунок 7 – Изолинии концентрации (ветер 10 м/с)

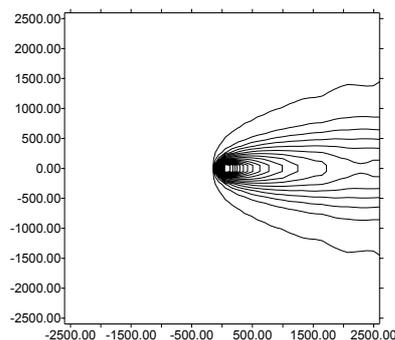


Рисунок 8 – Изолинии концентрации (ветер 20 м/с)

### ВЫВОДЫ

Использование неравномерной сетки позволяет в несколько раз сократить время расчёта или увеличить размеры расчётной области. Расхождение с результатами, полученными на равномерной сетке при этом незначительно. Расхождение больше вблизи границ расчётной области и обусловлено главным образом граничным условием – необходимостью совпадения значений в последней и предпоследней точках.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Пененко В.В., Алоян А.Е. Модели и методы для задач охраны окружающей среды. – Новосибирск: Наука, 1985.
2. Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы: учебное пособие для вузов. – М.:Наука, 1989.
3. Самарский А.А. Введение в теорию разностных схем. – М.: Главная редакция физико-математической литературы, 1971.

## РЕКОНСТРУКЦИЯ ПОЛЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ЗОЛЫ УГЛЯ, ВЫПАДАЮЩЕЙ НА СНЕГ В РАЙОНЕ ТЭЦ ЗАО КУЧУКСУЛЬФАТ ЗА ЗИМНИЙ ПЕРИОД

Н.Н. Безуглова, С.А. Петров, Ю.А. Суковатов, И.А. Суторихин

*Рассматривается математическая модель осаждения примеси на подстилающую поверхность с учетом климатических характеристик. Приводятся результаты расчетов концентраций золы угля, выпавшей за зиму на территории ТЭЦ ЗАО КУЧУКСУЛЬФАТ, и сравнение их с экспериментальными данными.*

Эффективное решение природоохранной проблемы может быть достигнуто лишь в том случае, когда в единый механизм управления будут увязаны научные, технические, организационные, экономические, со-

циальные и правовые аспекты [1]. Важным звеном в системе управления является организация надёжного и эффективного мониторинга выбросов загрязняющих веществ.

## РЕКОНСТРУКЦИЯ ПОЛЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ЗОЛЫ УГЛЯ, ВЫПАДАЮЩЕЙ НА СНЕГ В РАЙОНЕ ТЭЦ ЗАО КУЧУКСУЛЬФАТ ЗА ЗИМНИЙ ПЕРИОД

Проблема загрязнения атмосферы вызывает необходимость рассмотрения различных методов оценки концентрации в атмосфере и на подстилающей поверхности примесей, выделяемых различного рода непрерывными источниками (например, предприятиями промышленных районов и др.) и распространяющихся на большие расстояния. При этом поля концентрации примесей будут существенным образом определяться полем ветра, скорость которого изменяется в пространстве и во времени.

Использование снежного покрова в качестве индикатора загрязнения природной среды в городах позволяет заметно увеличить эффективность контроля загрязнения атмосферы, вод и почв. Для решения многих хозяйственных и экологических задач требуется знание уровней загрязнения в пограничном слое атмосферы. При исследовании процессов распространения и седиментации необходимо учитывать стратификацию метеорологических параметров в пограничном слое атмосферы в различные периоды времени, многообразие свойств подстилающей поверхности, характеристики источника выбросов и некоторые другие параметры. Поэтому наряду с наблюдениями за уровнями загрязнения атмосферы и выбросами загрязняющих веществ моделирование является важной составной частью экологического мониторинга.

При математическом моделировании переноса примеси в мезомасштабном пограничном слое атмосферы возникает проблема восстановления поля концентраций примеси в связи с отсутствием регулярных наблюдений над водными поверхностями, в труднодоступных районах, за пределами крупных городов, из-за редкой сети имеющихся пунктов отбора проб [2].

В настоящей работе приведены численные расчеты распространения примеси и осадения ее на подстилающую поверхность от стационарного источника загрязнения – тепловой электростанции ТЭЦ ЗАО КУЧУКСУЛЬФАТ, расположенной на территории Благовещенского района. В качестве исходного уравнения монотонной трехмерной нестационарной модели переноса аэрозоля в атмосфере и выпадения его на подстилающую поверхность использовалось уравнение адвекции и диффузии примеси с учетом взаимодействия её с подстилающей поверхностью. Результатом расчета является концентрация примеси в атмосфере и количество частиц или масса, выпавшие на еди-

ницу площади подстилающей поверхности за время расчета [3]:

$$\frac{\partial s}{\partial t} + u \frac{\partial s}{\partial x} + v \frac{\partial s}{\partial y} + (w - w_g) \frac{\partial s}{\partial z} + bs - \frac{\partial}{\partial z} k \frac{\partial s}{\partial z} - \mu_x \frac{\partial^2 s}{\partial x^2} - \mu_y \frac{\partial^2 s}{\partial y^2} = s_0(\vec{r}, t) \quad (1)$$

Здесь  $s$  – концентрация аэрозоля,  $u, v, w$  – компоненты скорости,  $w_g$  – скорость гравитационного оседания примеси,  $b$  – коэффициент поглощения примеси,  $k$  – вертикальный коэффициент турбулентной диффузии,  $\mu_x, \mu_y$  – горизонтальные коэффициенты турбулентной диффузии,  $s_0(\vec{r}, t)$  – источник загрязняющих веществ. Граничные условия для примеси следующие [3]:

$$z = h, \quad k \frac{\partial s}{\partial z} = 0, \\ x, y = d, \quad \mu_x \frac{\partial s}{\partial x} = 0, \quad \mu_y \frac{\partial s}{\partial y} = 0.$$

Здесь  $h$  – высота области распространения примеси,  $d$  – ее горизонтальный размер. Особо следует остановиться на нижнем граничном условии для примесей, которое имеет вид [3]:

$$z = z_1, \quad k \frac{\partial s}{\partial z} + w_g s = \beta s.$$

Здесь  $z_1$  – параметр шероховатости,  $\beta$  – величина, имеющая размерность скорости и характеризующая взаимодействие примеси с подстилающей поверхностью. Чем больше  $\beta$ , тем больше примеси оседает на подстилающую поверхность. В литературе встречаются значения  $\beta = 0,05 - 0,1$  м/с для суши, для водной поверхности  $\beta = 1$  м/с [3]. Значения скоростей гравитационного оседания для разных типов аэрозолей приведены в работе [4].

На основе рассмотренной модели в ИВЭП СО РАН созданы программы, позволяющие рассчитывать характер распространения загрязняющих веществ в атмосфере и их выпадения на подстилающую поверхность.

С помощью программ, созданных на основе рассмотренной модели были проведены расчеты выпадения загрязняющего вещества (золы угля) в снег за зимний период 11.2004-03.2005 от ТЭЦ ЗАО КУЧУКСУЛЬФАТ.

По многолетним данным метеостанции Благовещенка рассчитана роза ветров за период 1965-1995гг. Преобладающими оказались ветры южного (29%), юго-западного (29%), западного (10%) направлений; остальные направления характеризуются повторяемостью 3-8% (северо-западное-4%, северное-3%, северо-восточное-7%, восточное-8%, юго-восточное-7%, штиль-3%). Средняя скорость ветра за рассматриваемый период 5 м/с.

Уравнение (1) дискретизировалось по пространственным переменным и решалось методом прямых. Для интегрирования системы обыкновенных дифференциальных уравнений применялся метод Рунге-Кутты второго порядка аппроксимации. Расчетная область составила 10×10 км по горизонтали и 360 м по вертикали. Программа производит расчет выпадения примеси в снег за весь зимний период (150 дней). В соответствии с розой ветров определялось число дней за зимний период с определенным направлением ветра. Далее направление ветра менялось автоматически в соответствии с розой ветров. Для области, размеры которой указаны выше, расчет выпадения аэрозоля в снег за 5 месяцев занимает не больше 3 минут, что позволяет проводить многократные расчеты. В процессе расчетов определялось, при каких значения коэффициента горизонтальной диффузии  $\mu$ , параметра взаимодействия с подстилающей поверхностью  $\beta$  результаты расчетов лучше всего совпадают с результатами измерений. Результатом расчета является масса примеси, выпавшая на единицу площади подстилающей поверхности за время расчета. Путем сравнения расчетов с экс-

периментальными данными подобраны значения эмпирических коэффициентов модели. Наилучшие результаты соответствуют следующим значениям коэффициентов:  $\mu = 300 \text{ м}^2/\text{с}$ ,  $\beta = 0,2 \text{ м/с}$ .

На рис.1 приведены соответствующие рассчитанные изолинии концентраций выпавшего в снег загрязняющего вещества (зола угля в  $\text{г/м}^2$ ) за зимний период от ТЭЦ ЗАО КУЧУКСУЛЬФАТ. Положение источника отмечено крестиком. Как видно из рис.1 наибольшее количество примеси (240-400  $\text{г/м}^2$ ) выпало вблизи источника, на расстоянии, не превышающем 800 м от него.

В таблице 1 приведены экспериментальные и рассчитанные значения концентраций аэрозоля на различных расстояниях от источника.

Отбор проб производился в конце зимнего сезона 2004/2005гг. (5-12 марта 2005г.). Маршруты отбора проб находились с подветренной стороны в соответствии с северо-северо-западным направлением ветра. Значения концентрации в точках 1, 2, 3 получились следующим образом. Керны снега площадью 20×20 см отбирались по методу «конверта» на всю глубину снежного слоя. Нижний, прилегающий к почве слой образца толщиной 1,5-2 см отсекался. Образцы в лабораторных условиях помещались на предварительно взвешенные сухие фильтры марки «Ф» в воронки Бюхнера. Процессы растапливания снега и фильтрации образующейся воды протекали, по сути, одновременно, что в существенной мере уменьшало потери некоторых элементов в аэрозолях в процессе их растворения.

Таблица 1

| № точки отбора пробы | Расстояние от источника (км) | Измеренная масса аэрозоля на единицу площади ( $\text{г/м}^2$ ) | Расчетная масса аэрозоля на единицу площади ( $\text{г/м}^2$ ) | Относительная погрешность % |
|----------------------|------------------------------|---|--|-----------------------------|
| 1                    | 0,8(ССЗ)                     | 425   | 360  | 15                          |
| 2                    | 1,5(ССЗ)                     | 193   | 240  | 24                          |
| 3                    | 3(ССЗ)                       | 78  | 100  | 28                          |

Такие потери могут быть особенно значимы, если частицы аэрозоля долго пребывают в подкисленной воде [5]. После сушки нерастворимый осадок (не менее 85% массы высушенной пробы) счищался в стеклянные бюксы. Путем взвешивания проб и экспонированных фильтров определялась концентрация выпавшего на снег вещества ( $\text{г/м}^2$ ).

Проведенные численные расчеты показали хорошее соответствие с имеющимися экспериментальными данными (таблица 1). Ореол рассеяния соответствует преобладающим направлениям ветра. Расхождение теоретических и экспериментальных данных не превышает 28%.

## РЕКОНСТРУКЦИЯ ПОЛЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ЗОЛЫ УГЛЯ, ВЫПАДАЮЩЕЙ НА СНЕГ В РАЙОНЕ ТЭЦ ЗАО КУЧУКСУЛЬФАТ ЗА ЗИМНИЙ ПЕРИОД

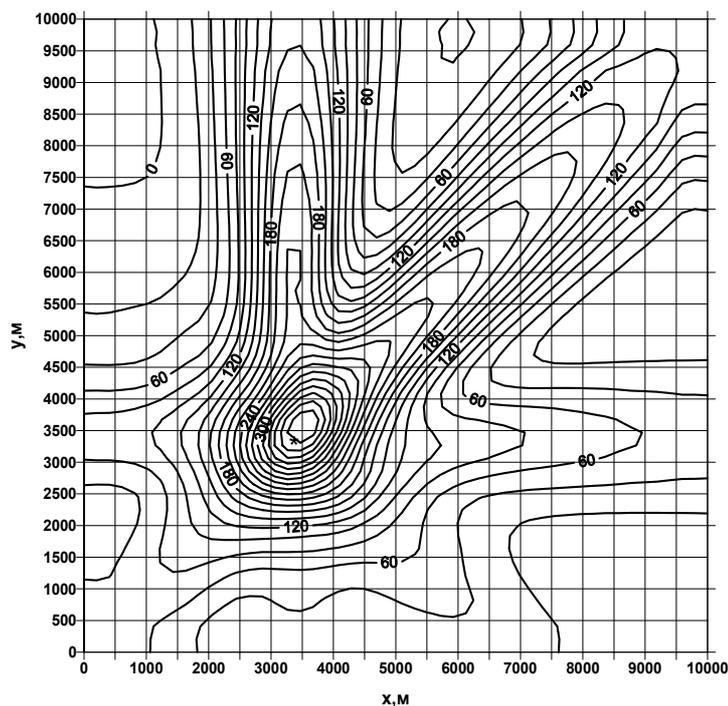


Рисунок 1 – Схема рассчитанного распределения содержания золы угля (координаты источника 3400; 3400)

### ЛИТЕРАТУРА

1. Василенко В.Н., Назаров И.М., Фридман Ш.Д. Мониторинг загрязнения снежного покрова. – Л.: Гидрометеоиздат, 1985. – 182 с.

2. Аргучинцев В.К., Аргучинцева А.В. Негидростатическая модель мезомасштабного пограничного слоя атмосферы // Моделирование процессов гидросферы, атмосферы и ближнего космоса. – Новосибирск: Наука, 1985. – С. 79-84.

3. Пененко В.В., Алоян А.Е. Модели и методы для задач охраны окружающей среды. – Наука, 254 с.

4. Теверовский Е.Н., Дмитриев Е.С. Перенос аэрозольных частиц турбулентными потоками. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 159 с.

5. Роева Н.Н., Исправникова В.В., Новиков М.М., Кошаров А.Н., Очиров В.В. Исследование форм загрязняющих элементов в аэрозольных частицах атмосферного воздуха // Состояние и комплексный мониторинг природной среды и климата. Пределы изменений. – М.: Наука, 2004. – С. 229-240.

## РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ РАСЧЁТА ПОГЛОЩЕННОЙ ДОЗЫ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ОБЛУЧЁННЫХ МАТЕРИАЛАХ

Л.М. Алякритская, Ю.Г. Афанасьев

*В целях прогнозирования радиационной стойкости облученных материалов различных по своей природе разработана компьютерная программа расчета поглощенной энергии. Разработанная программа позволяет определять распределение поглощенной дозы в материалах.*

Требование радиационной стойкости предъявляется в настоящее время практически ко всем комплектующим элементам различных объектов и изделий, эксплуатирующихся во многих отраслях науки и техники. В соответствии с требованиями, изложенными в технических заданиях, условия радиационной стойкости предусматривают

*ПОЛУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 2 2006*

тирующихся во многих отраслях науки и техники. В соответствии с требованиями, изложенными в технических заданиях, условия радиационной стойкости предусматривают