

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ПРОБЛЕМАМ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ  
ПРОГНОЗОВ, ЭКОЛОГИИ, КЛИМАТА СИБИРИ (к 40-летию образования СибНИГМИ)  
19-20 апреля 2011 г. Новосибирск

# **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЕРРИТОРИЙ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

*Рапуста В.Ф., Коковкин В.В., Романов А.Н.,  
Олькин С.Е., Морозов С.В.*

**ИВМиМГ СО РАН, ГУ «СибНИГМИ», ИНХ СО  
РАН, ИВЭП СО РАН, НИОХ СО РАН,  
ГНЦ ВБ «Вектор»**

# I. ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОЗОЛЬНЫХ ВЫПАДЕНИЙ В ОКРЕСТНОСТЯХ Г. НОВОСИБИРСКА, КЕМЕРОВО, БАРНАУЛА, ТОМСКА, СЕВЕРСКА, ИСКИТИМА

## 1) Модель оценивания регионального загрязнения территорий

Точечный источник  $\bar{q}(r, \varphi) = \frac{M \cdot g(\varphi)}{2\pi \cdot u \cdot h \cdot r},$  (1)

$$\bar{q}(r, \varphi) = \frac{\theta \cdot g(\varphi)}{r} \quad \theta = \lambda \cdot M / (2\pi \cdot u \cdot h),$$
 (2)

$$\bar{q}(r, \varphi) = \frac{\lambda \cdot M g(\varphi)}{2\pi r} \iint_{\Omega} \frac{B(u', h')}{u' \cdot h'} d\Omega = \frac{\theta' \cdot g(\varphi)}{r}$$
 (3)

$$\theta' = \frac{\lambda \cdot M}{2\pi} \iint_{\Omega} \frac{B(u', h')}{u' \cdot h'} d\Omega$$

## Площадной источник

$$Q(x, y) = \frac{\lambda}{2\pi u h} \iint_S \frac{m(\xi, \eta) g(\varphi)}{d} d\xi d\eta \quad (4)$$

$$\varphi(\xi, \eta, x, y) = \operatorname{arctg} \left( \frac{y - \eta}{x - \xi} \right), \quad d = |M_1 M| = \sqrt{(x - \xi)^2 + (y - \eta)^2}$$

$$\begin{aligned} Q_1(x, y) &= \frac{c}{r} \iint_S m(\xi, \eta) \left\{ g(\varphi_0) + \left( \frac{\pi}{2} - 1 \right) g'(\varphi_0) - g'(\varphi_0) \left( \frac{x}{r^2} \xi + \frac{y}{r^2} \eta \right) \right\} d\xi d\eta = \\ &= \theta_1 \frac{g(\varphi_0) + \left( \frac{\pi}{2} - 1 \right) g'(\varphi_0)}{r} + \theta_2 \frac{g'(\varphi_0) x}{r^3} + \theta_3 \frac{g'(\varphi_0) y}{r^3} \quad (5) \end{aligned}$$

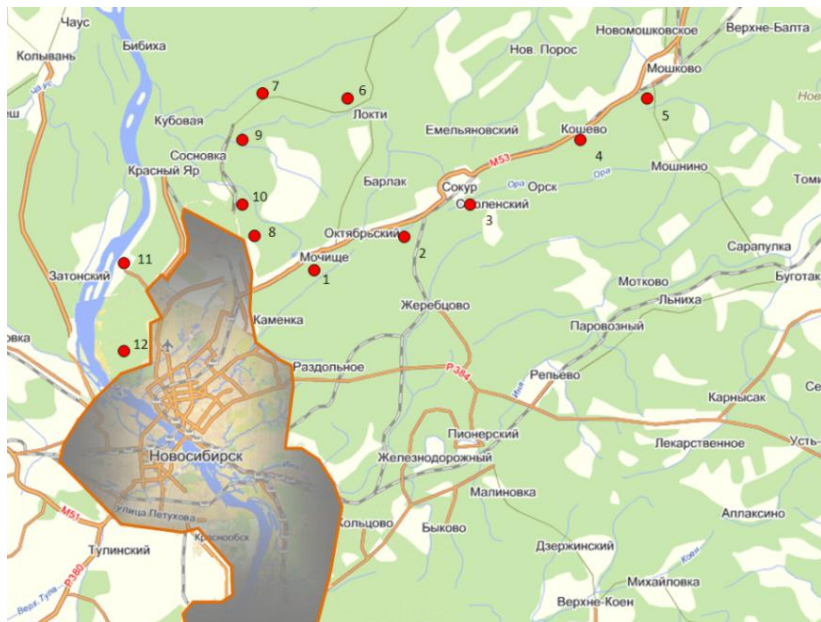
$$\theta_1 = c \iint_S m(\xi, \eta) d\xi d\eta, \quad \theta_2 = -c \iint_S \xi m(\xi, \eta) d\xi d\eta, \quad \theta_3 = -c \iint_S \eta m(\xi, \eta) d\xi d\eta.$$

## Замечание

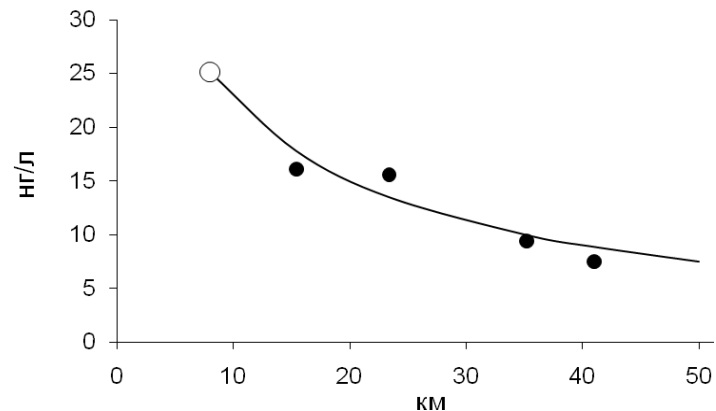
$$g'(\varphi) = 0$$

## 2) Экспериментальные исследования

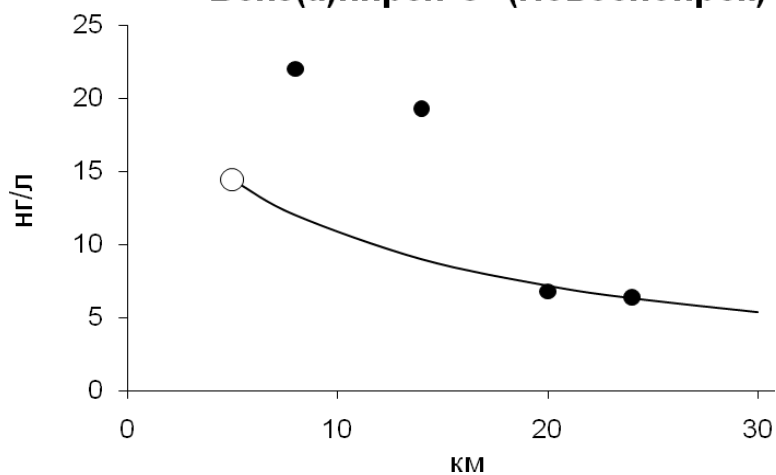
## Новосибирск



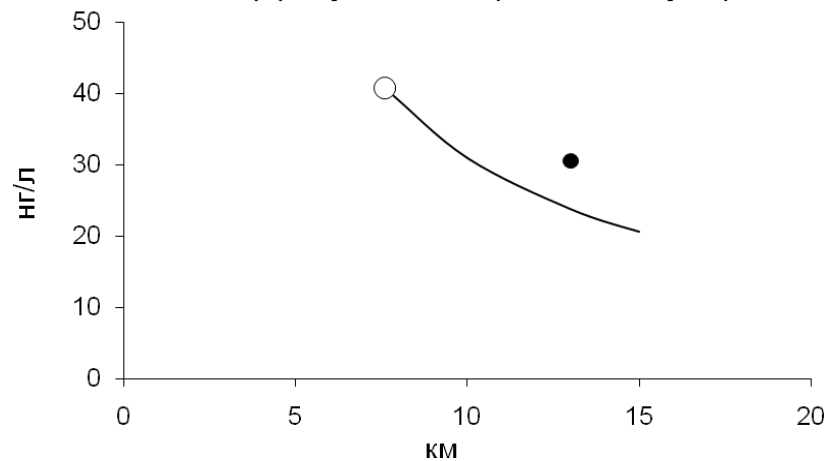
Бенз(а)пирен С-В (Новосибирск)



Бенз(а)пирен-С (Новосибирск)

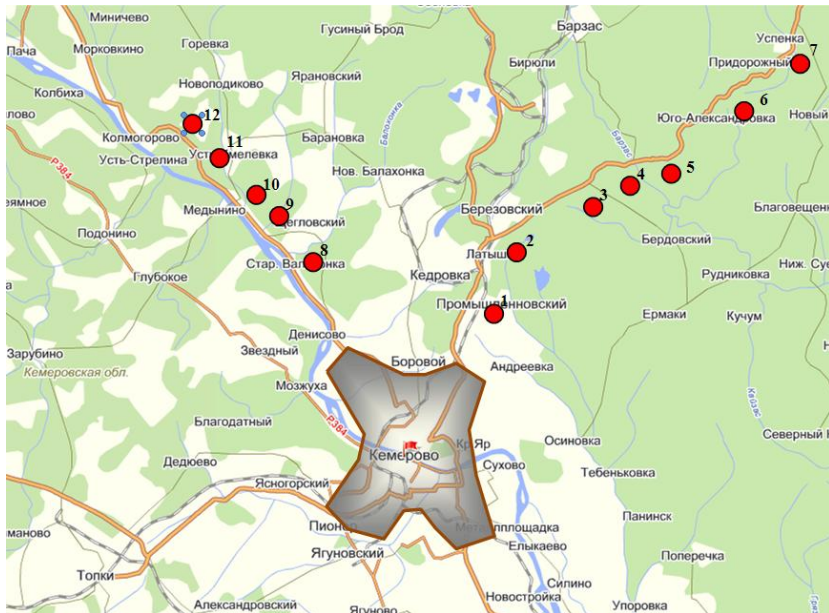


Бенз(а)пирен ССЗ (Новосибирск)

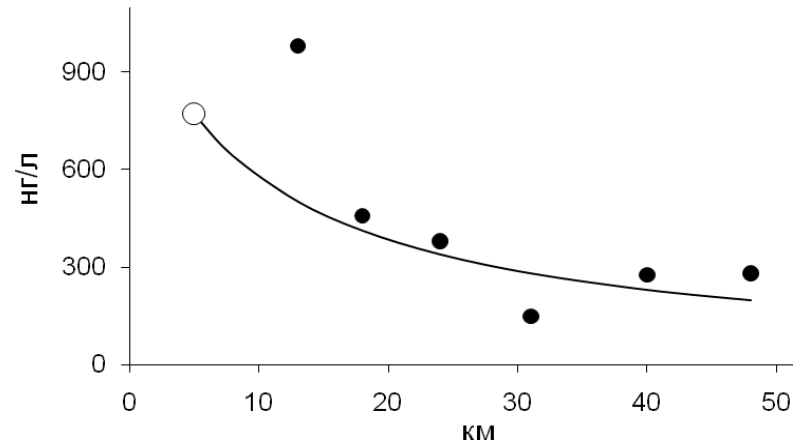


O - опорные, ● - контрольные точки наблюдения

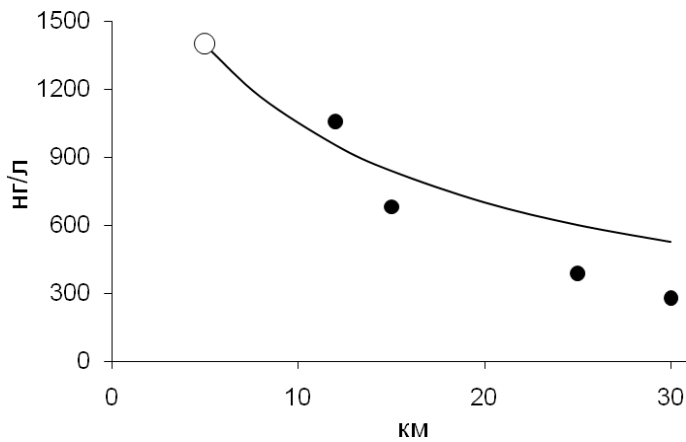
# Кемерово



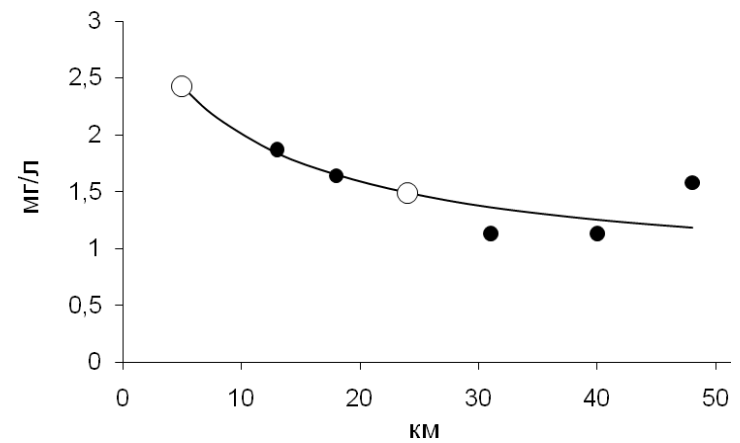
### Сумма ПАУ С-В (Кемерово)



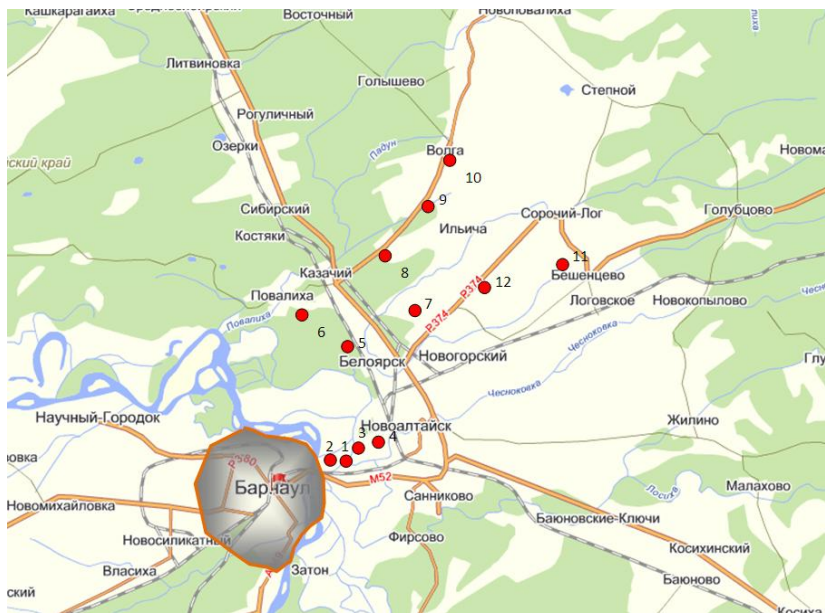
### Сумма ПАУ-С (Кемерово)



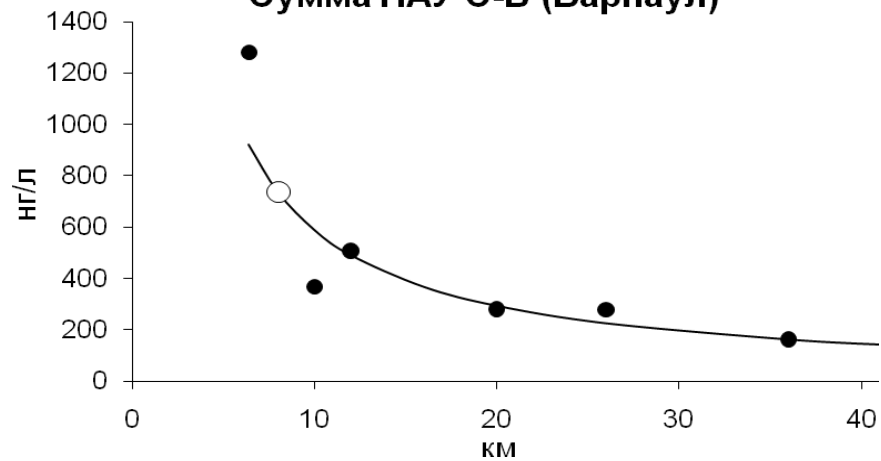
### Сульфаты С-В (Кемерово)



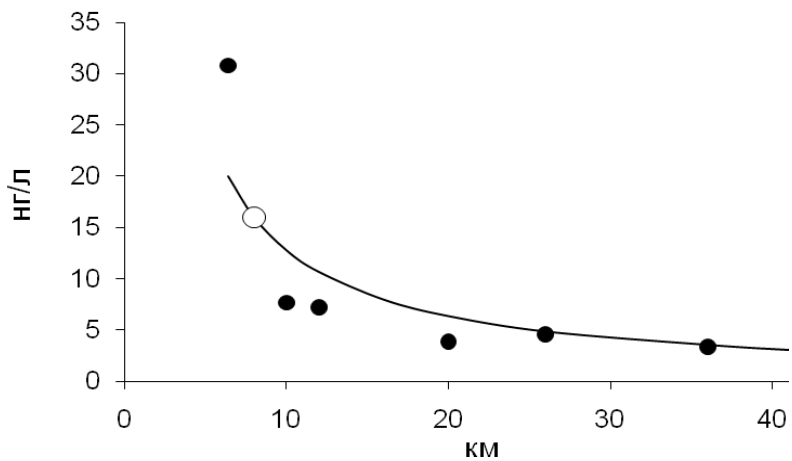
# Барнаул



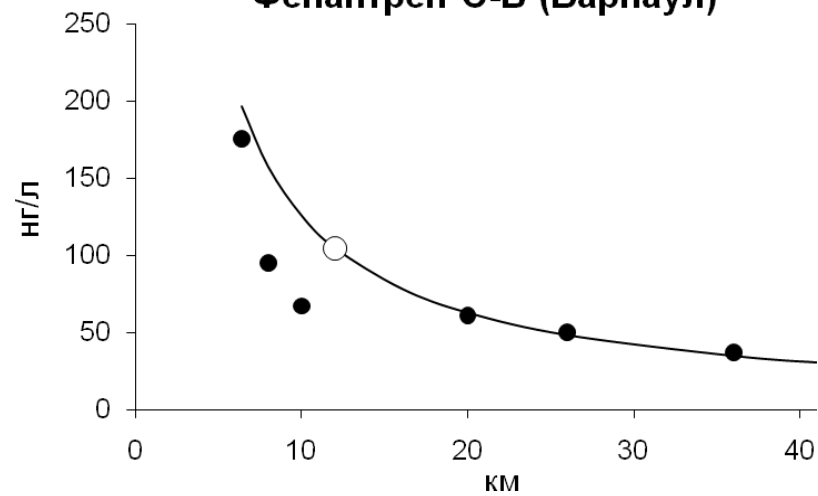
Сумма ПАУ С-В (Барнаул)



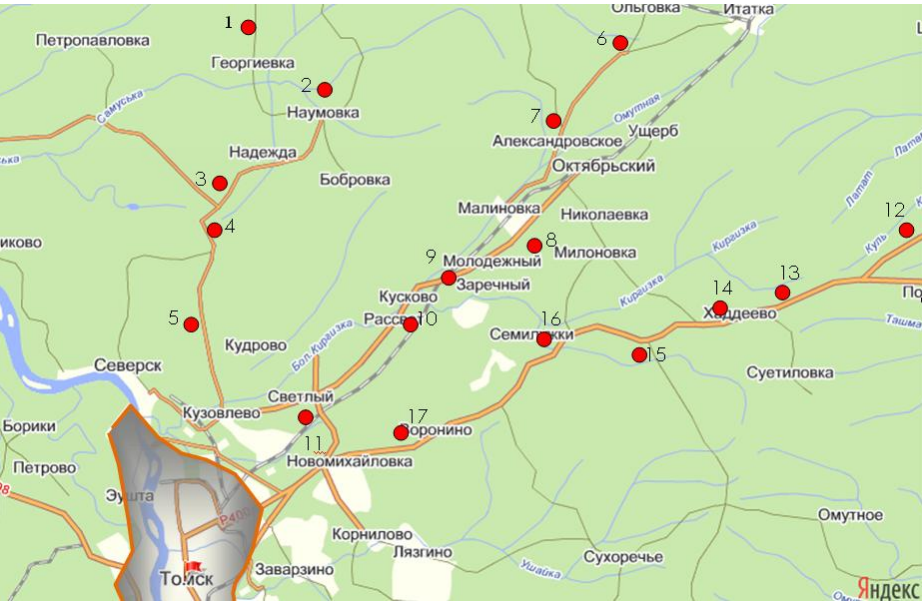
Бенз(а)пирен С-В (Барнаул)



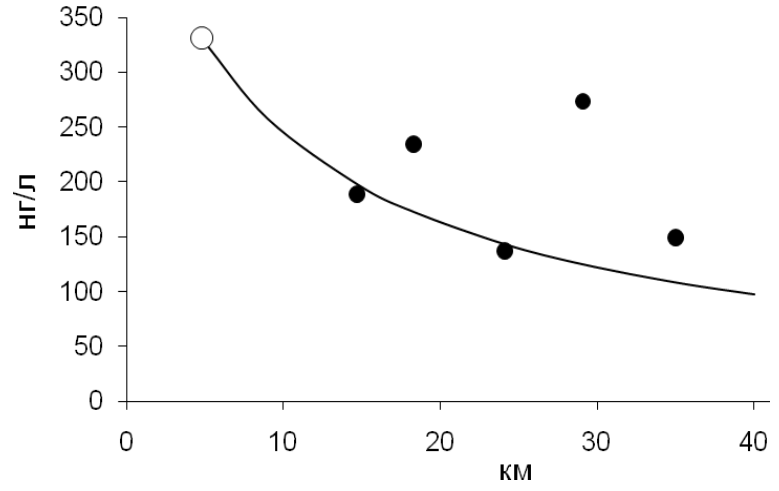
Фенантрен С-В (Барнаул)



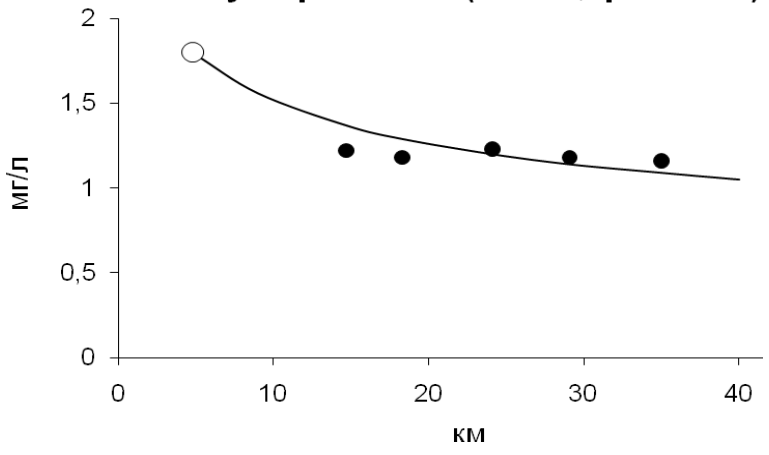
# Томск



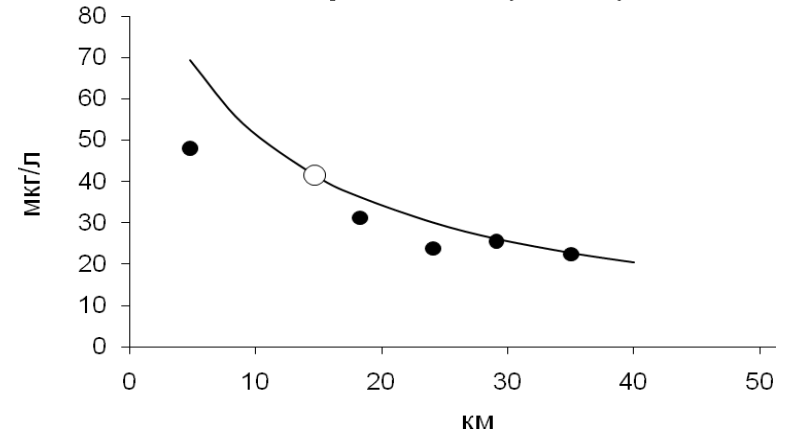
Сумма ПАУ С-В (Томск)



Сульфаты С-В (Томск, фон=0.75)



Фториды С-В (Томск)





## II. Сравнительный анализ загрязнения в городах атмосферного воздуха и снегового покрова на постах Росгидромета

Снеговые пробы анализировались на полиароматические углеводороды (ПАУ), нефтяные углеводороды (НУ), определялся анионный и микроэлементный состав.

Сравнение составов в сопредельных средах производилось между концентрациям сажи в атмосферном воздухе и бенз(а)пирена и ПАУ в снеговом покрове, а так же между газами ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}$ ) и анионами ( $\text{SO}_3^{2-}$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}$ ).

**Таблица 1. Компоненты для сравнения уровней загрязнения**

### **Компоненты, в воздухе**

**Сажа, бенз(а)пирен**

**$\text{SO}_2$**

**$\text{NO}_2$ , формальдегид**

**$\text{NO}$**

**Взвешенные вещества**

### **Компоненты, в снеговом покрове**

**Бенз(а)пирен, ПАУ**

**Сульфат-ион**

**Нитрат-ион**

**Нитрит-ион**

**Осадок**

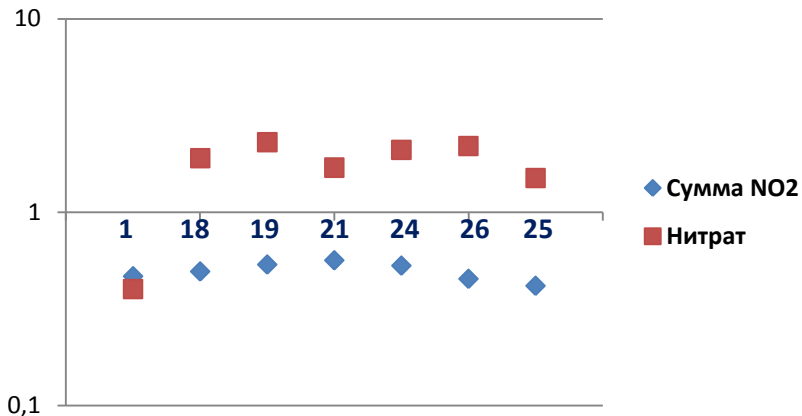




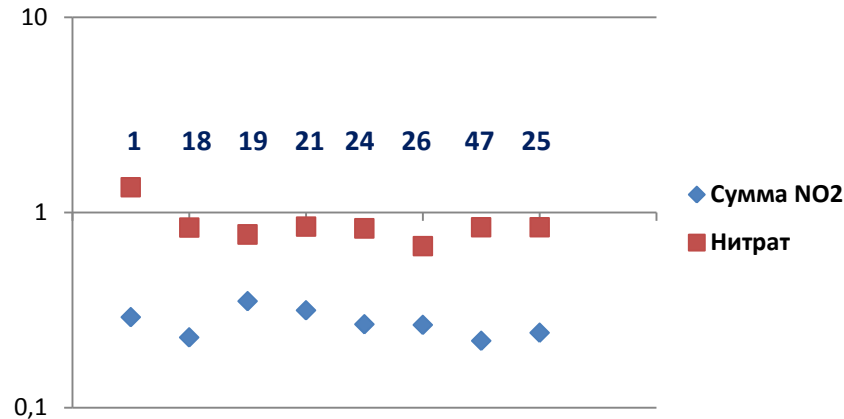
Схема размещения ПНЗ на территории г. Новосибирска

# Сопоставление концентраций $\text{NO}_2$ в атмосферном воздухе (мг/м<sup>3</sup>) и нитрат-иона в снеговом покрове (мг/л)

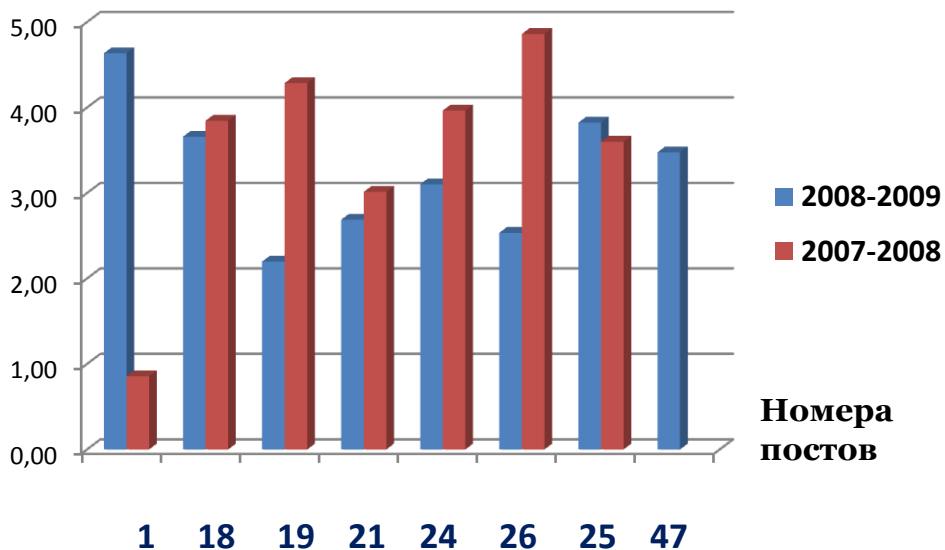
## Зимний сезон 2007-2008



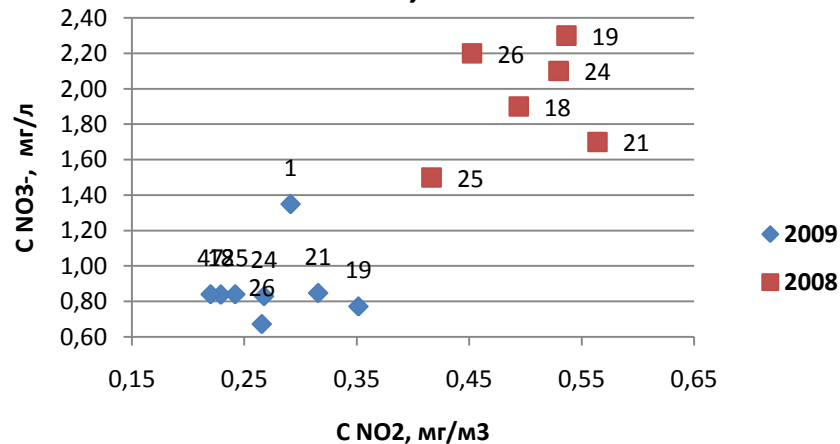
## Зимний сезон 2008-2009



### К нитрат/ $\text{NO}_2$

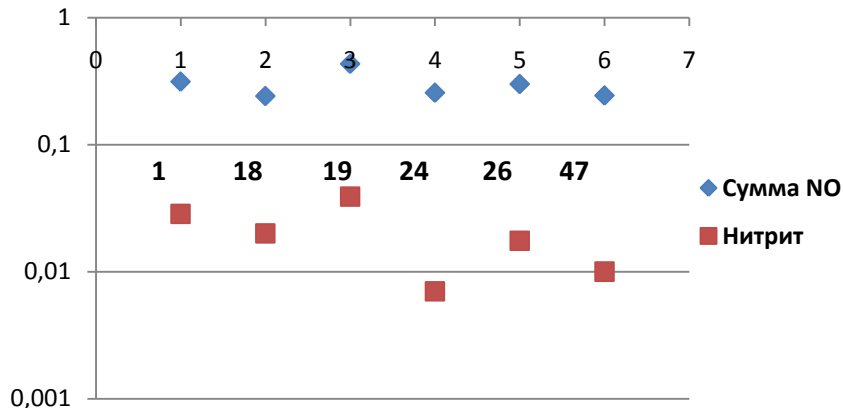


## 2009, 2008

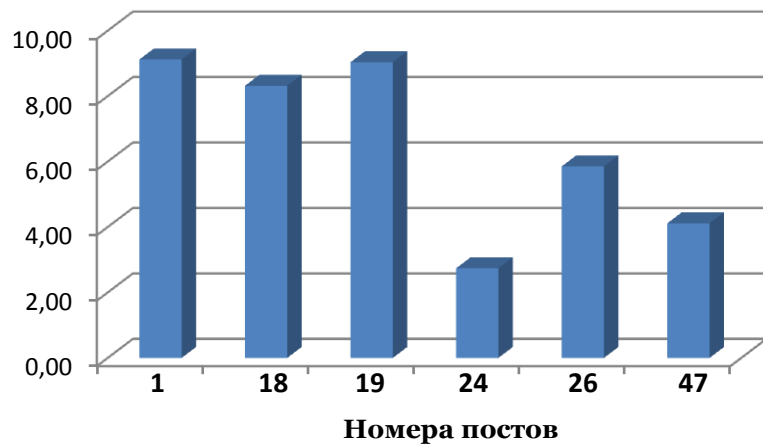


# Сопоставление концентраций NO в атмосферном воздухе (мг/м<sup>3</sup>) и нитрит-иона в снеговом покрове (мкг/л)

Зимний сезон 2008-2009

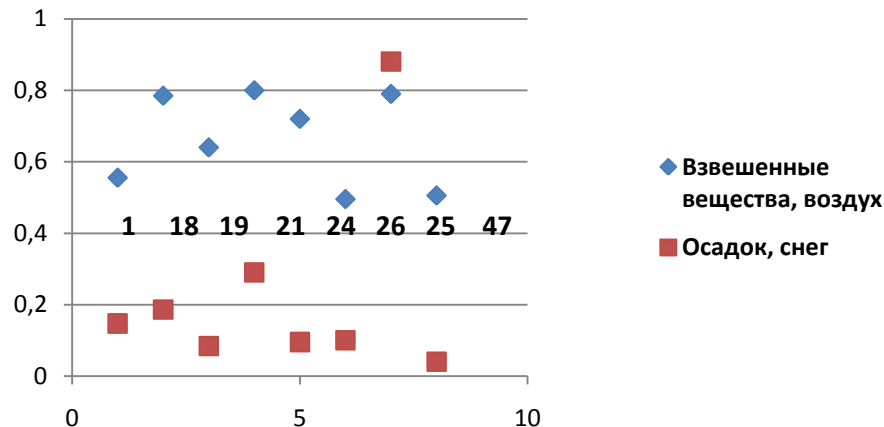


К нитрит/NO

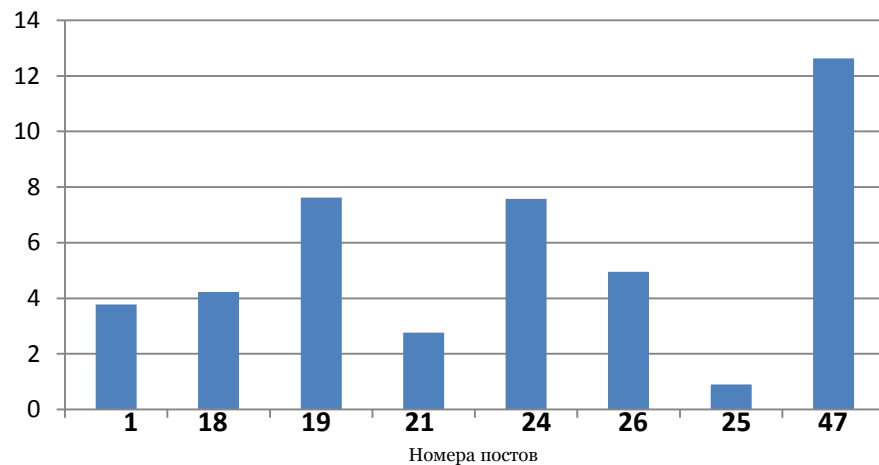


# Сопоставление концентраций взвешенных веществ в атмосферном воздухе (мг/м<sup>3</sup>) и осадка в снеговом покрове (г/л)

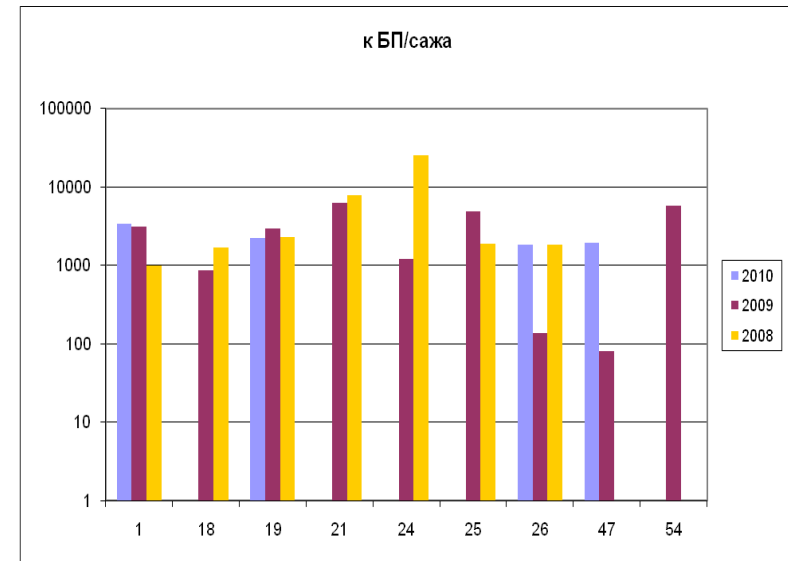
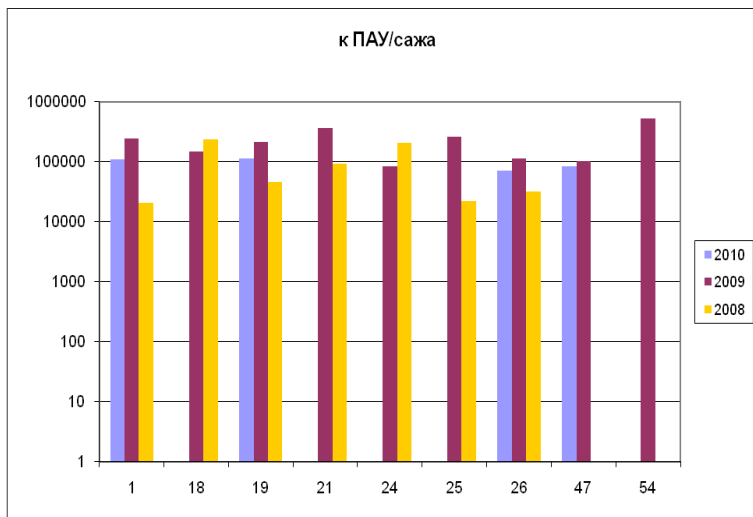
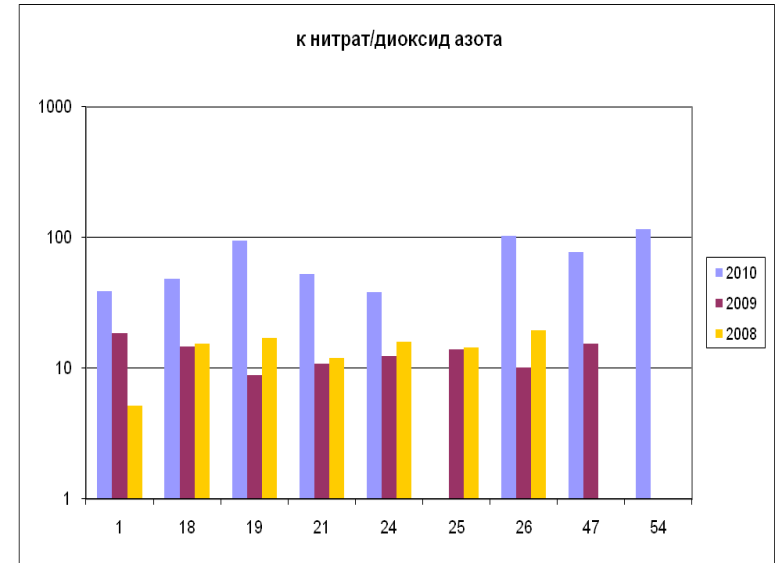
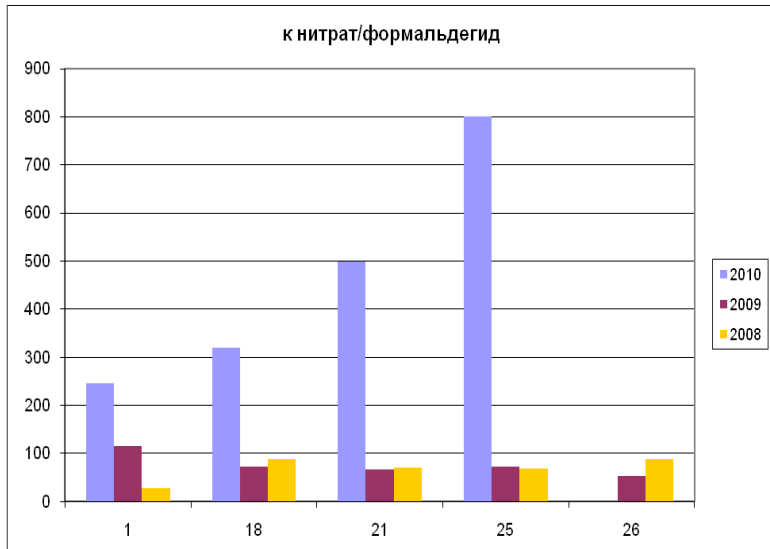
Зимний сезон 2008-2009



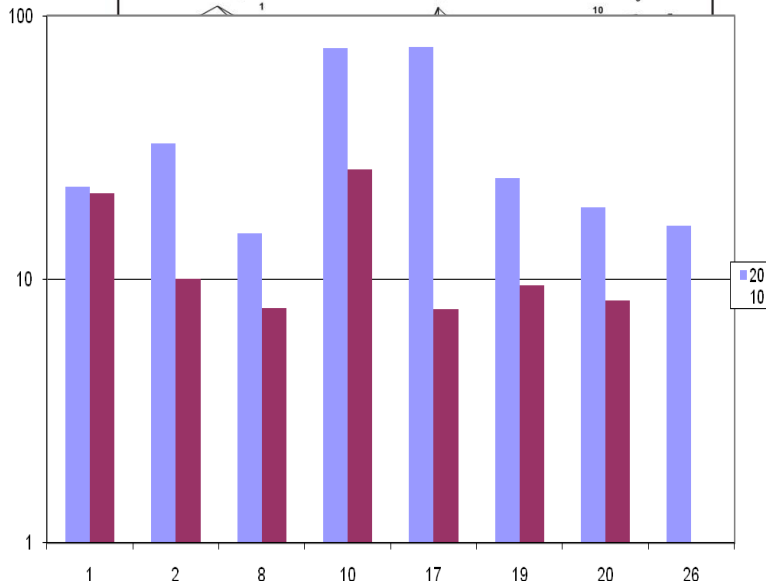
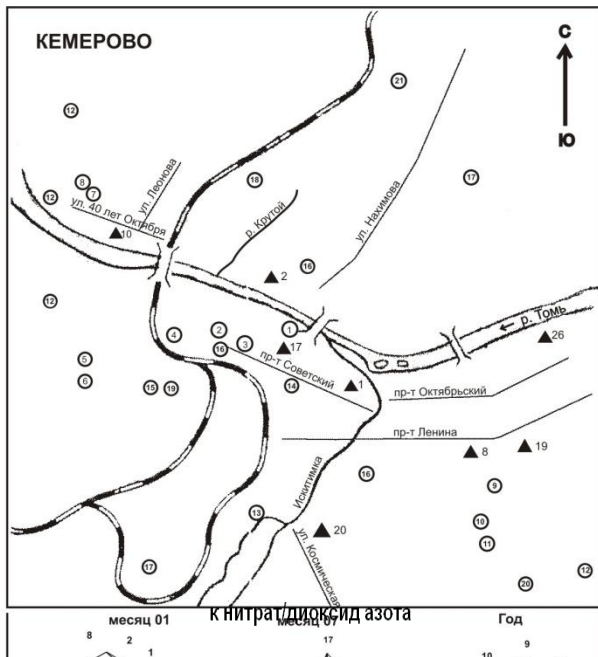
К взвешенные вещества/осадок



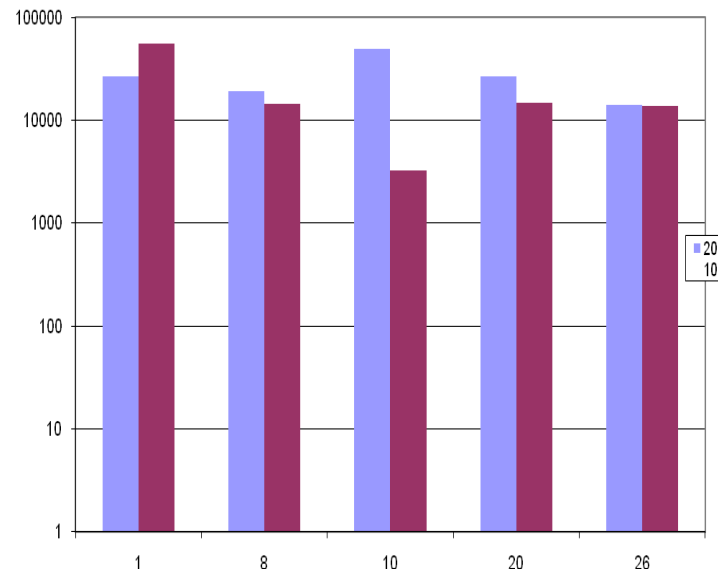
# Сопоставление концентраций формальдегида, NO<sub>2</sub>, сажи в атмосферном воздухе (нг/м<sup>3</sup>), нитратов, ПАУ в снеге (нг/л)



# Кемерово



к ПАУ/сажа



к нитрат/формальдегид



Рис. 1. Отношение концентраций нитратов в снеге (мг/л) и диоксида азота в воздухе (мг/м<sup>3</sup>) за зимние сезоны 2008/09 и 2009/10 гг. на ПНЗ г. Томска

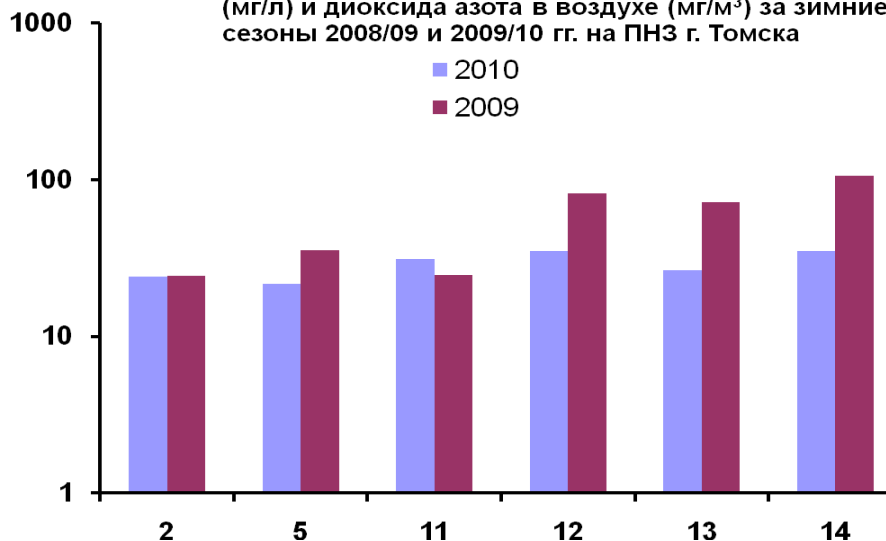
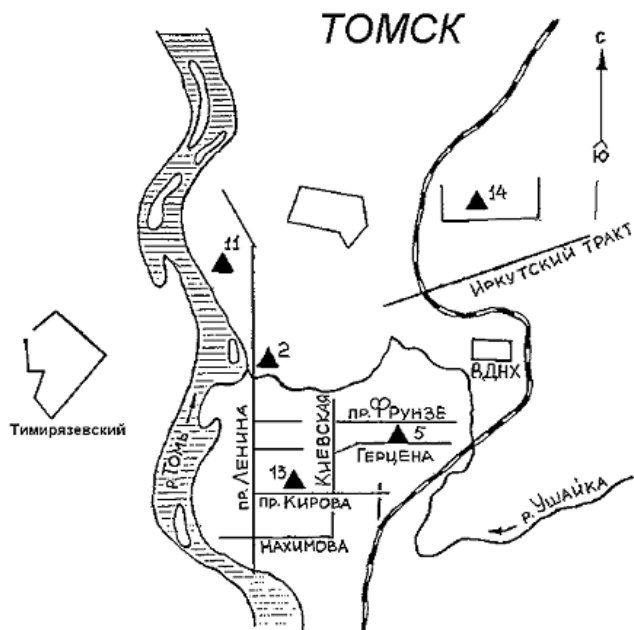
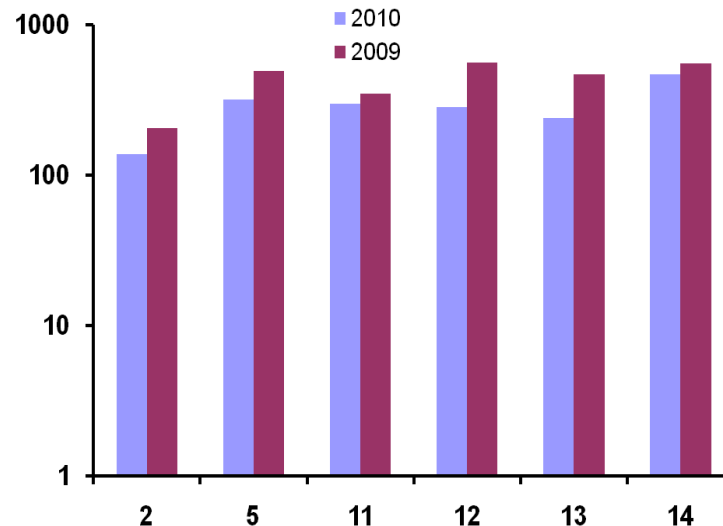


Рис. 2. Отношение концентраций нитратов в снеге (мг/л) и формальдегида в воздухе (мг/м<sup>3</sup>)



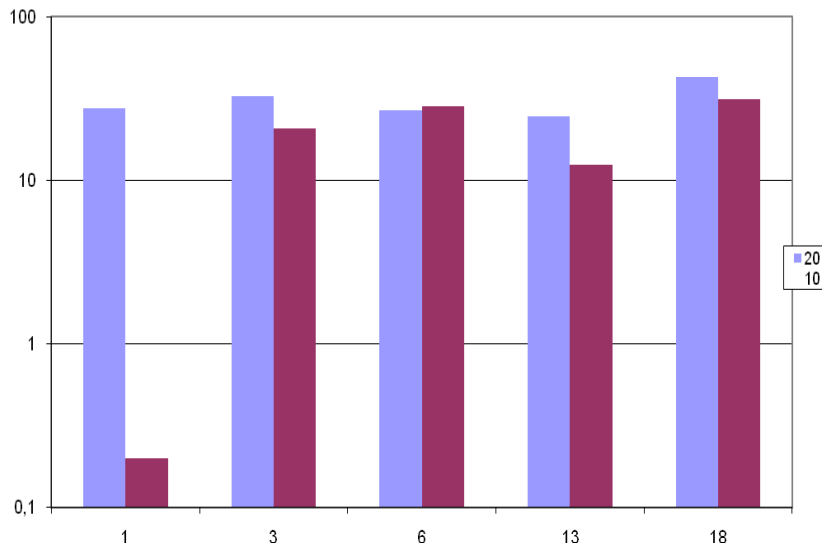
ПНЗ №12 расположен в п. Светлом-20км. к СВ от города

Рис. 3. Отношение концентраций сульфатов в снеге (мг/л) и диоксида серы в воздухе (мг/м<sup>3</sup>)

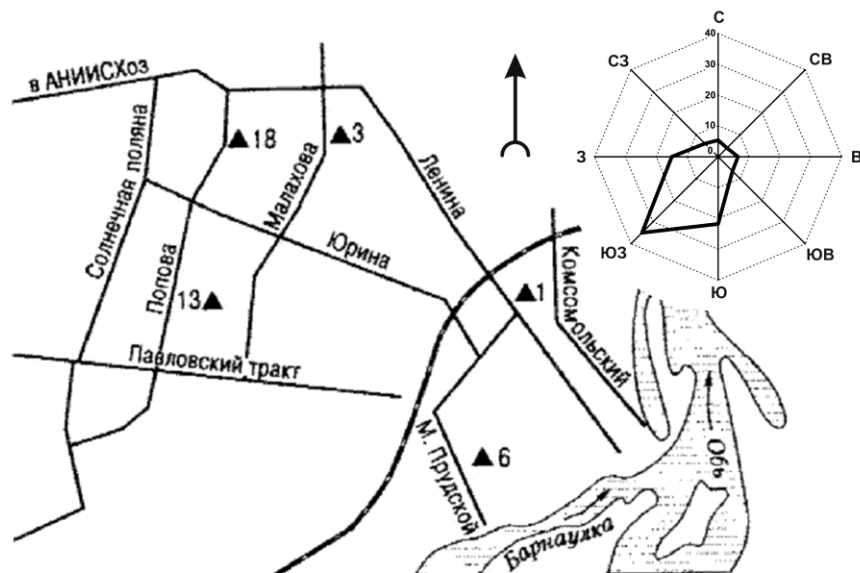
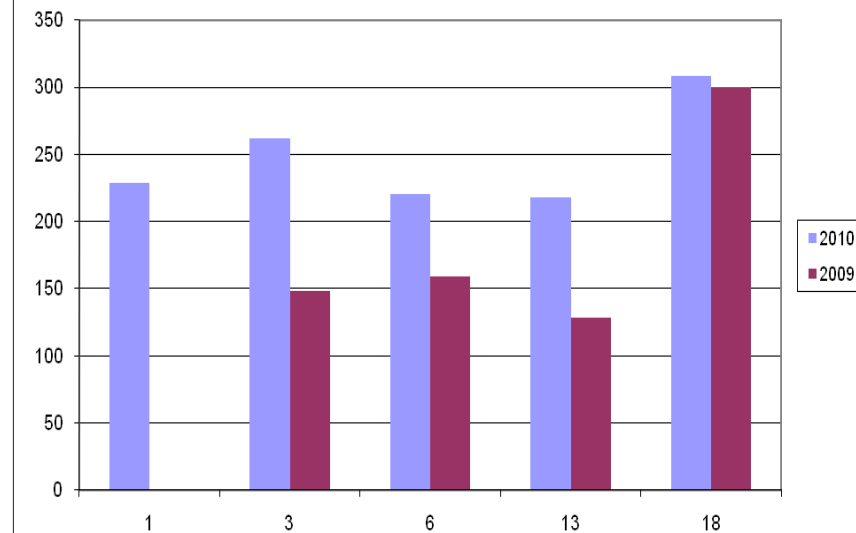


# Барнаул

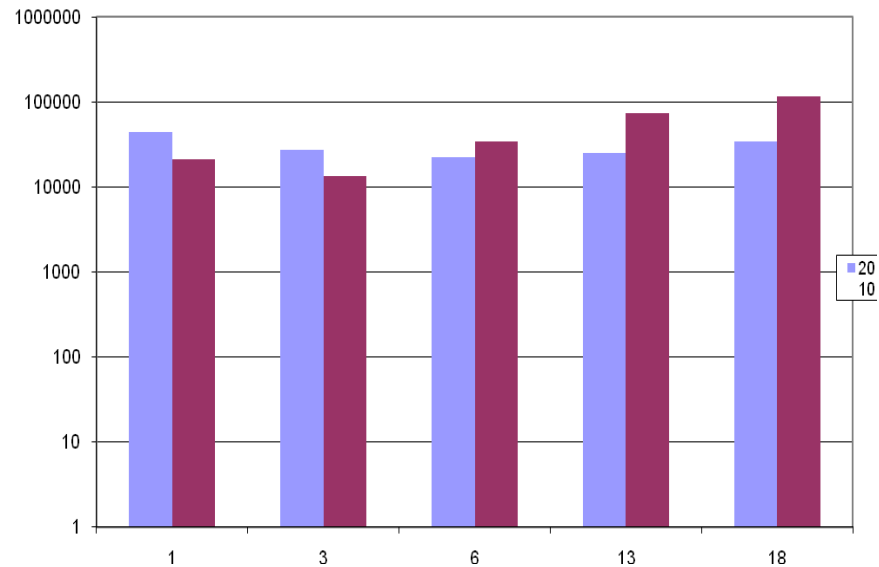
к нитрат/диоксид азота



к нитрат/формальдегид



к ПАУ/сажа





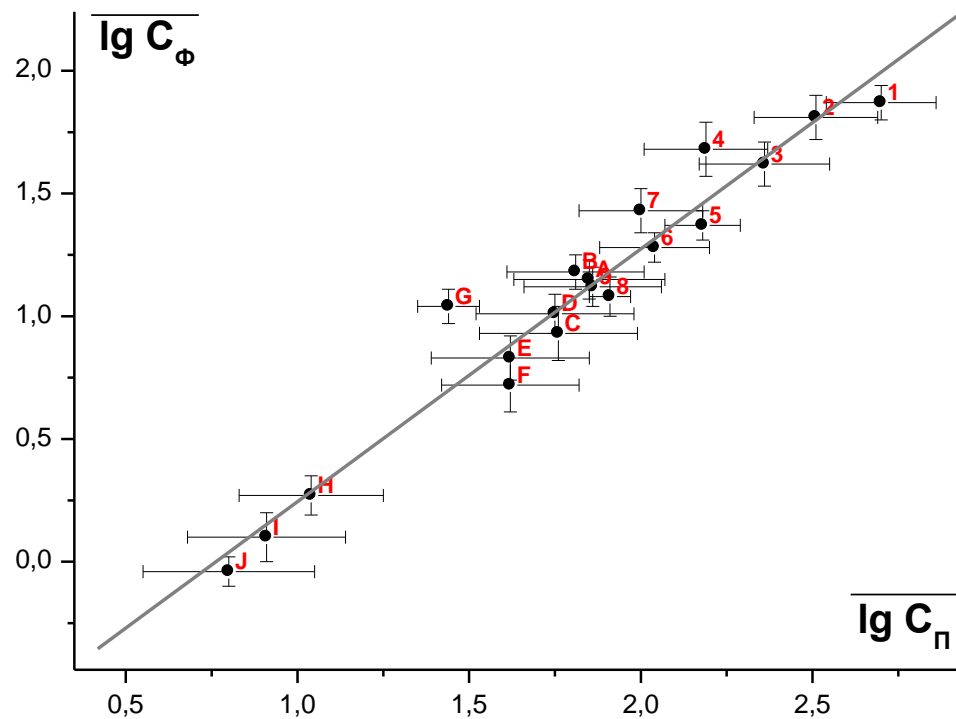


Рис. Сопоставление средних логарифмов концентраций ПАУ (нг/л) для барнаульских метеорологических постов и «факела» : 1 – фенантрен, 2 – флуорантрен, 3 – пирен, 4 – нафталин, 5 – флуорен, 6 – аценафтилен, 7 – хризен, 8 – антрацен, 9 – бенз(е)пирен, А – бенз(б)флуорантрен, В – бенз(к)флуорантрен, С – бенз(ghi)перилен, D – индено(1,2,3-сd)пирен, E – бенз(а)пирен, F – бенз(а)антрацен, G – аценафтен, H – бенз(j)флуорантрен, I – перилен и J – дибенз(а,h)антрацен.

Полученный результат, по нашему мнению, является свидетельством идентичности сопоставляемых территорий накопления ПАУ.

### III. Модели и методы оценивания полей локального загрязнения окрестностей промышленных источников

#### Базовая модель переноса примеси

$$u(z) \frac{\partial q}{\partial x} - w \frac{\partial q}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} k(z) \frac{\partial q}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial y} v(z) \frac{\partial q}{\partial y}, \quad (6)$$

$$k \frac{\partial q}{\partial z} + wq \Big|_{z=0} = 0, \quad q \Big|_{|\vec{x}| \rightarrow \infty} \rightarrow 0, \quad q \Big|_{x=0} = M \delta(y) \delta(z - H), \quad (7)$$

$$u(z) = u_1 \left( \frac{z}{z_1} \right)^n, \quad k(z) = k_1 \left( \frac{z}{z_1} \right)^m, \quad v(z) = k_0 u(z) \quad (8)$$

$$\bar{q}(r, \varphi) = \iint_{\Omega} q(r, \varphi, k_1, u_1) P(k_1, u_1) dk_1 du_1$$

**(9)**

$$P(K_1, u_1) = p'(u_1) p''(\lambda), \quad \lambda = \frac{k_1}{u_1}, \quad p''(\lambda) = \delta(\lambda - \bar{\lambda})$$

### а) Лёгкая примесь

$$\bar{q}(r, \varphi) = \frac{QG(\varphi + 180^\circ)}{\sqrt{2\pi}\varphi_0 r^2} \cdot \iint_{\Omega_1} \frac{1}{n+1} e^{\frac{-H^{n+1}}{\lambda(1+n)^2 r}} \lambda p'(u_1) p''(\lambda) d\lambda du_1 =$$

**(10)**

$$= \frac{QG(\varphi + 180^\circ) \bar{\lambda}}{\sqrt{2\pi} (1+n) \varphi_0 r^2} e^{\frac{-H^{n+1}}{\bar{\lambda}(1+n)^2 r}} \cdot \int_0^u p'(u_1) du_1 = \theta_1 \frac{G(\varphi + 180^\circ)}{r^2} e^{\frac{-\theta_2}{r}}$$

$$\theta_1 = \frac{Q\bar{\lambda}}{\sqrt{2\pi} (1+n) \varphi_0} \int_0^u p'(u_1) du_1, \quad \theta_2 = \frac{H^{1+n}}{\bar{\lambda} (1+n)^2}$$

## б) Монодисперсный аэрозоль

$$\bar{q}_w(r, \varphi) = \theta_{1w} G(\varphi + 180^\circ) r^{\theta_{3w}} e^{-\frac{\theta_2}{r}} \quad (11)$$

$$\theta_{1w} = \frac{QH^{(1+n)\omega_2}}{\sqrt{2\pi}\varphi_0(1+n)^{2\omega_2+1}\bar{\lambda}^{\omega_2-1}\Gamma(1+\omega_2)} \int_0^u p'(u_1) du_1, \quad \theta_{3w} = -2 - \omega_2, \quad \omega_2 = \frac{w}{(1+n)\bar{\lambda}_1\bar{u}_1}$$

## в) Полидисперсный случай

$$N(w) = \frac{a^{m+1}}{\Gamma(m+1)} w^m e^{-aw}, \quad m \geq -1, \quad a = \frac{m}{w_m} \quad (12)$$

$$p(x) = \frac{\theta_1}{x^{1.5}} \exp\left(-\frac{c}{x}\right) \int_0^\infty \frac{\omega^{\theta_2} \exp(-\theta_3\omega)}{\Gamma(1+\omega)} \left(\frac{c}{x}\right)^\omega d\omega, \quad (13)$$

$$\theta_1 = \frac{MR^{m+2}}{(1+n)a\Gamma(1+m)}, \quad \theta_2 = m+1, \quad \theta_3 = a(1+n)k_1.$$

# Новосибирский оловокомбинат

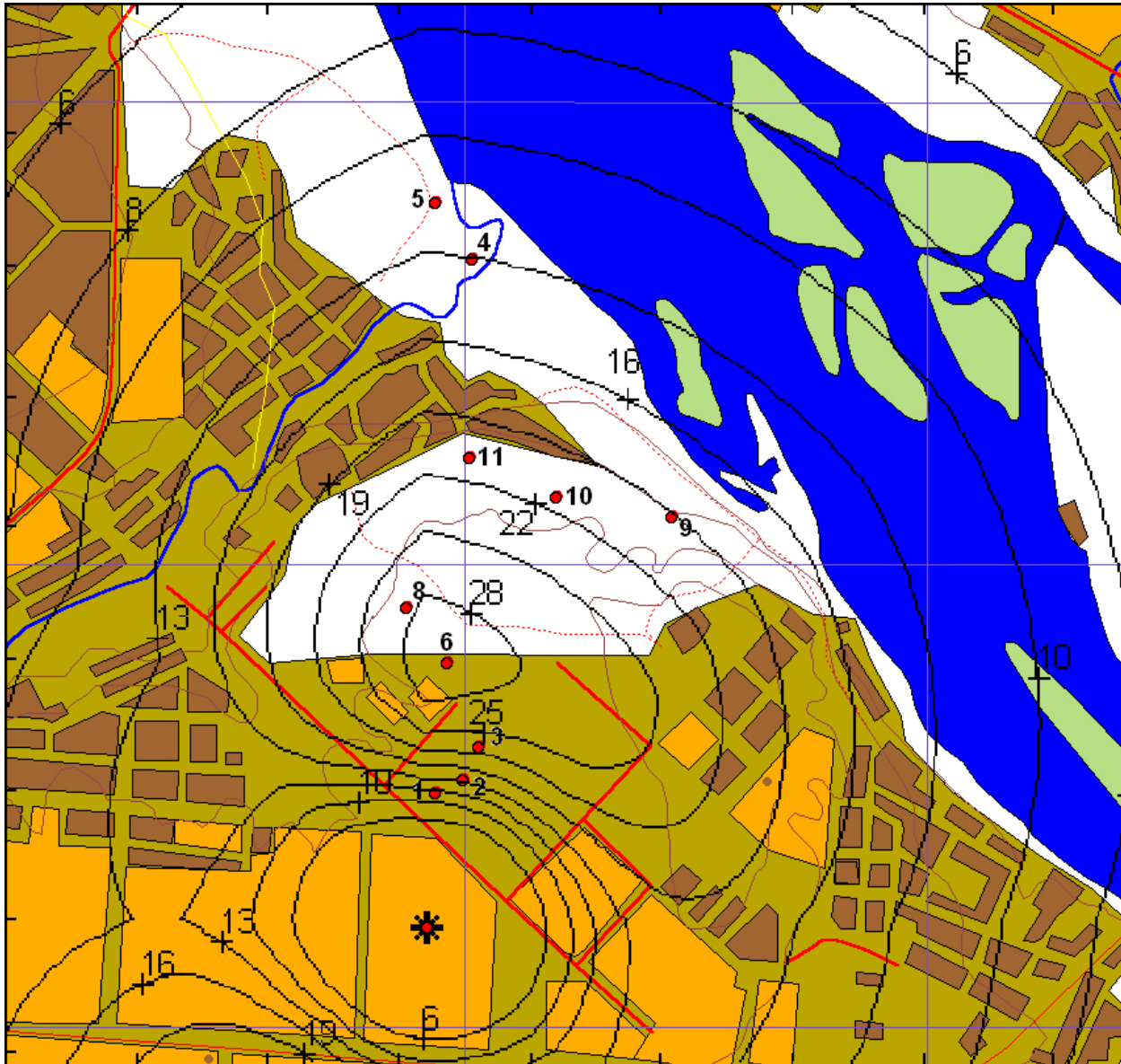
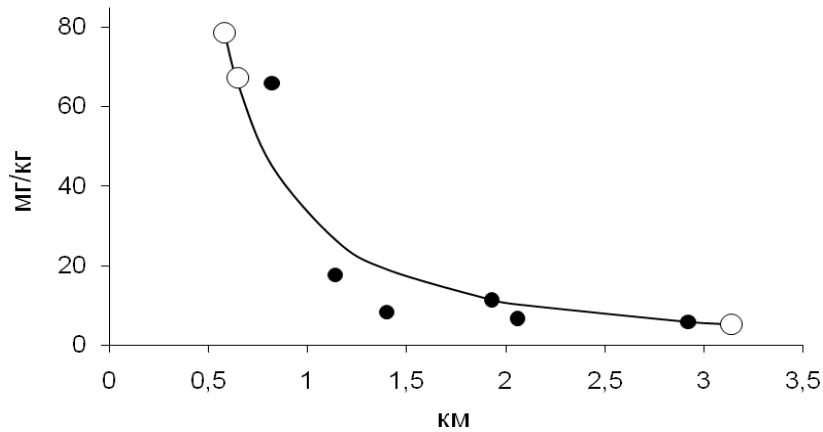
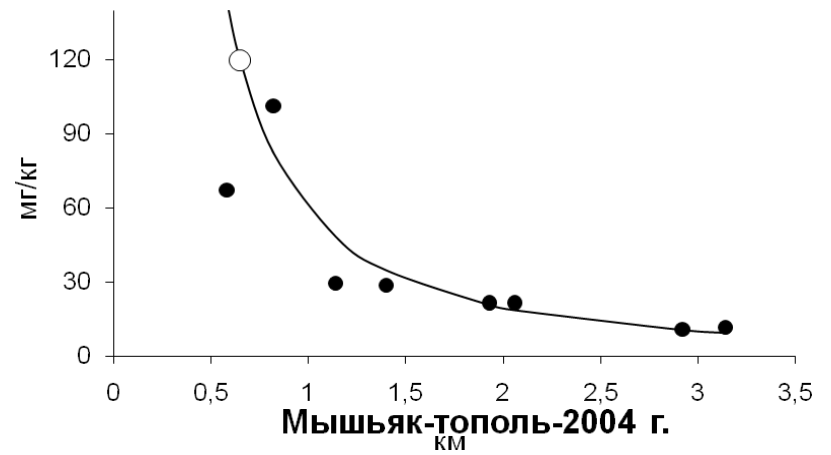


Рис. 1. Схема отбора листьев берёзы

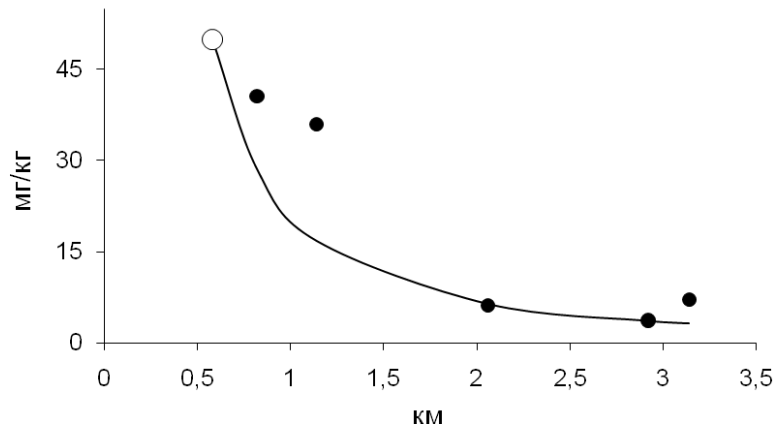
**Олово-берёза-2004 г.**



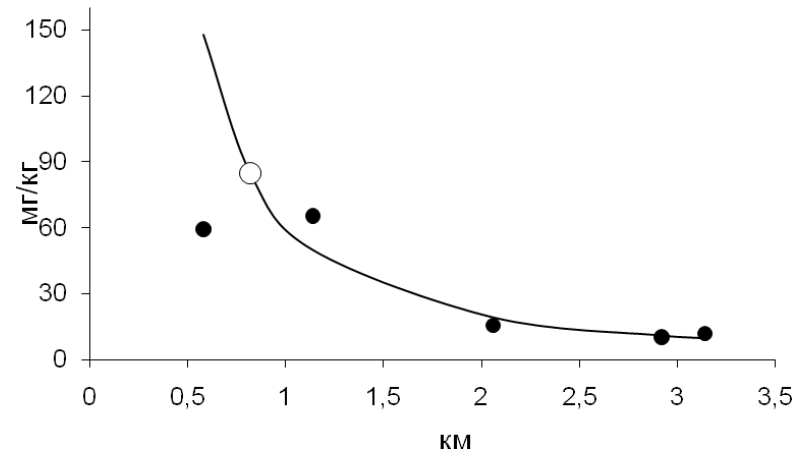
**Мышьяк-берёза-2004 г.**



**Олово-тополь-2004 г.**



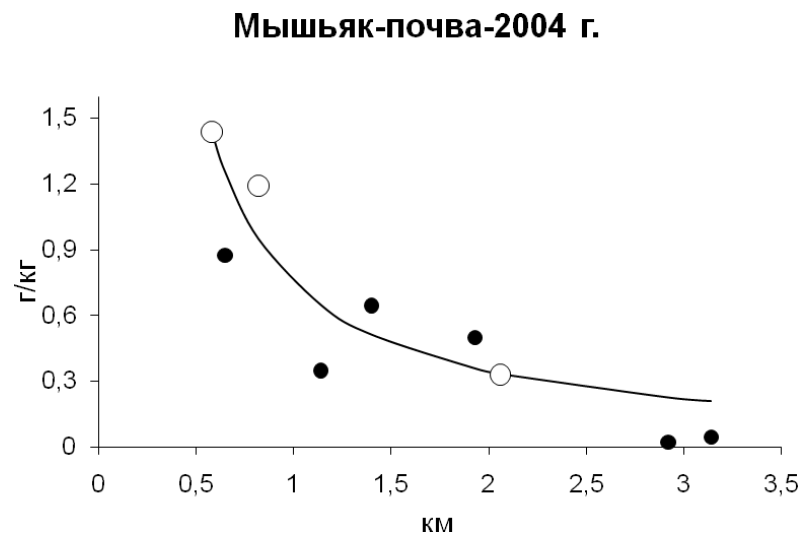
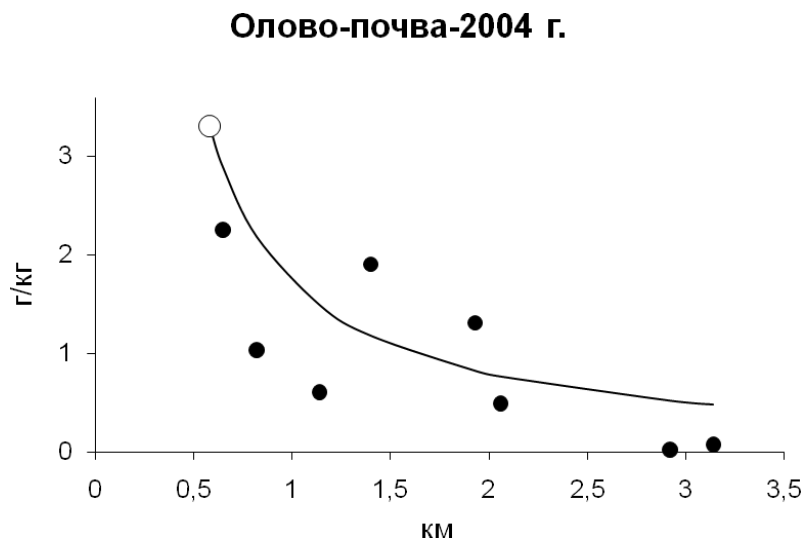
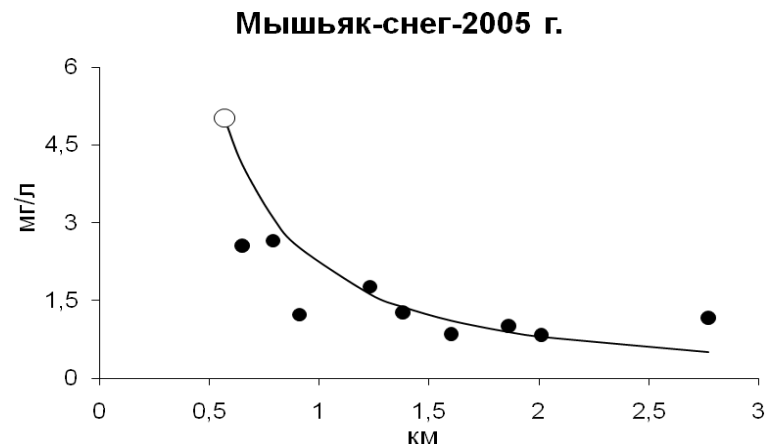
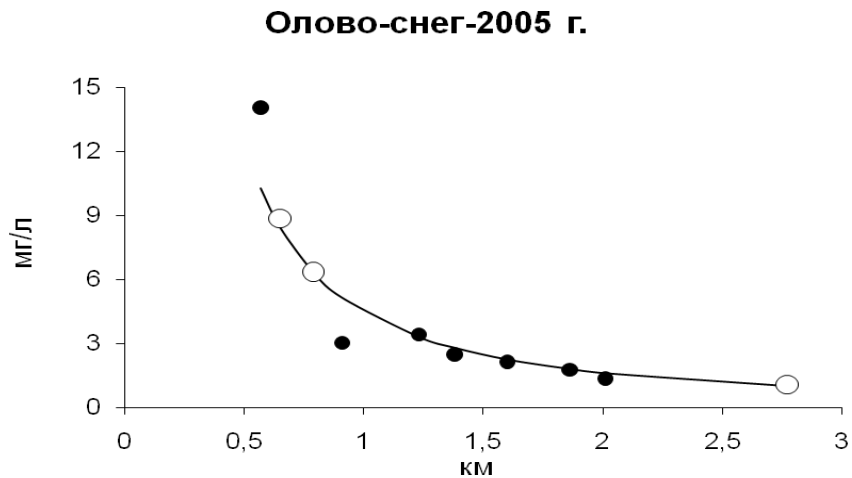
**Мышьяк-тополь-2004 г.**



**Рис. 2. Реконструкция загрязнения листьев берёзы и тополя к северу от НОК**

○ - опорные точки, ● - контрольные точки наблюдений,

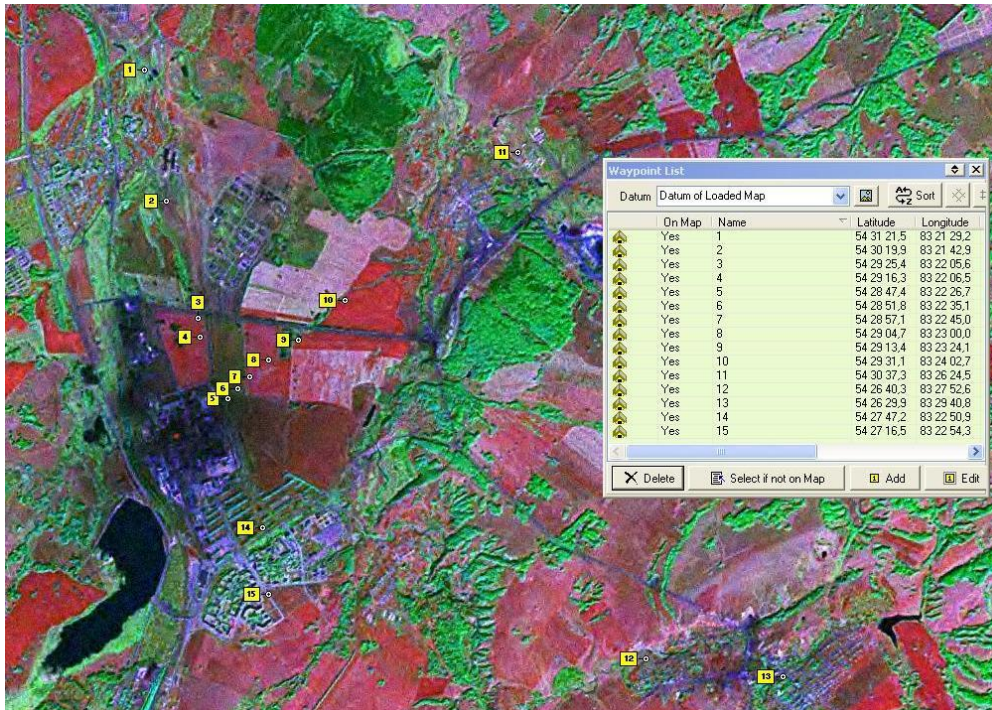
— — - рассчитанная концентрация



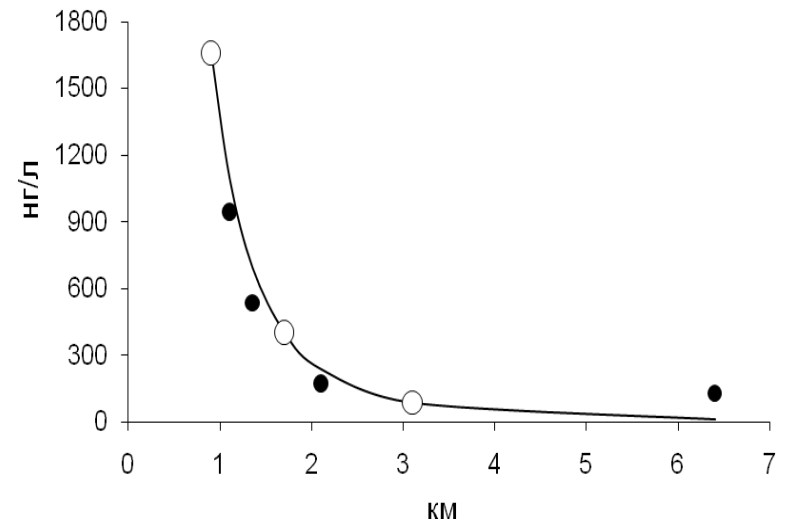
**Рис. 3. Реконструкция загрязнения снега и почвы в северном направлении от НОК**



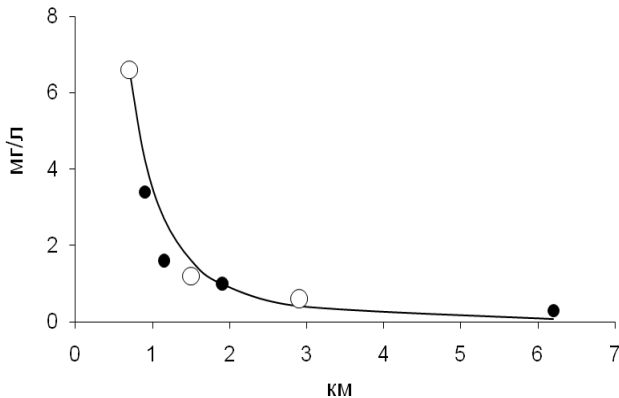
# Новосибирский электродный завод



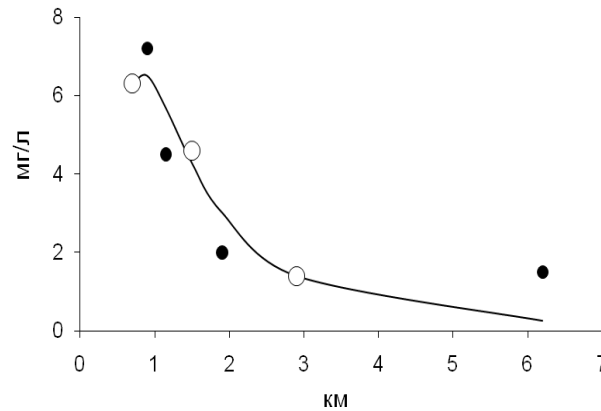
НовЭЗ С-В (бензапирен)



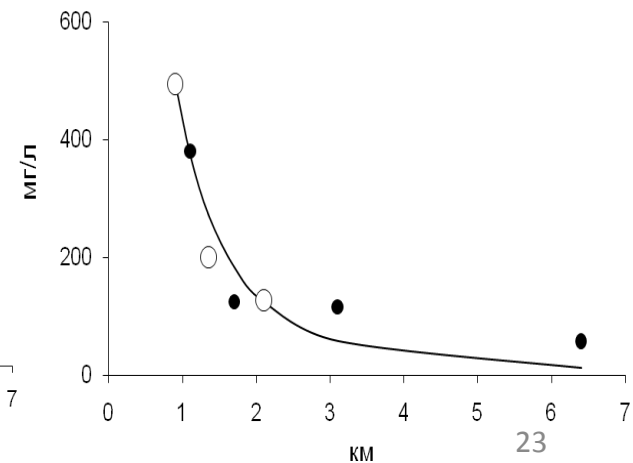
НовЭЗ С-В (сульфаты, фон=1,1 мг/л)



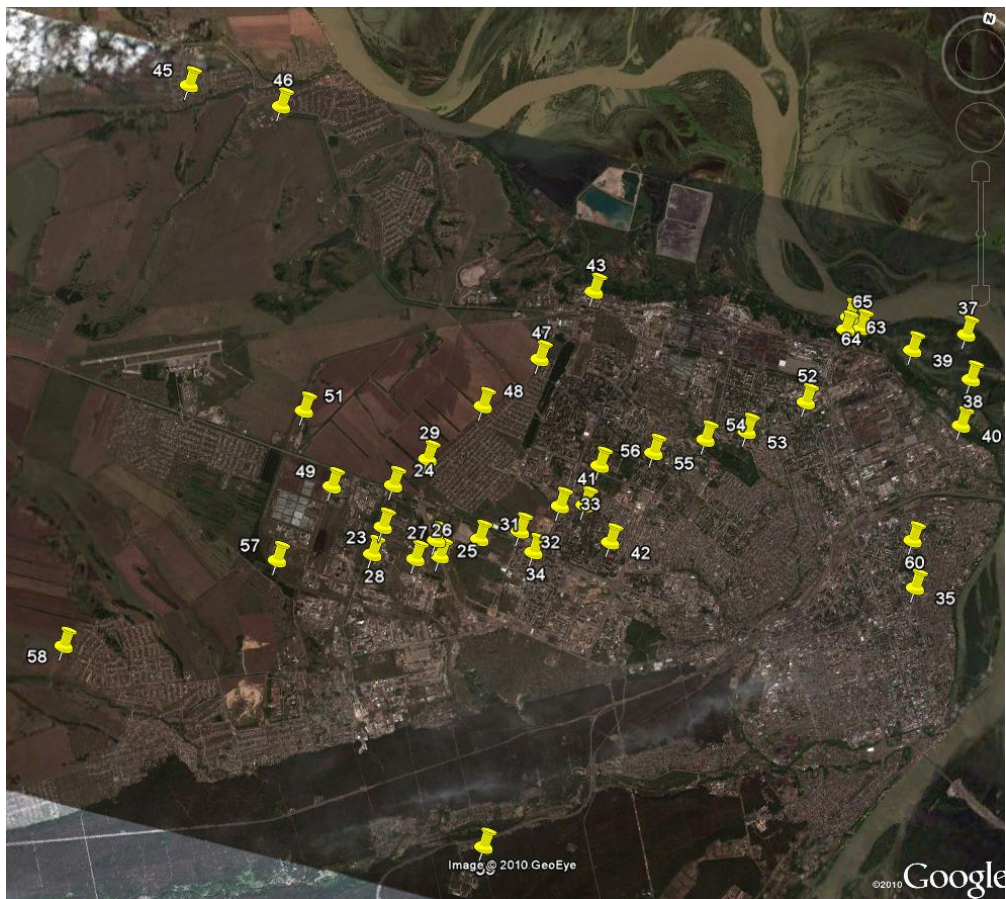
НовЭЗ С-В (нитраты)



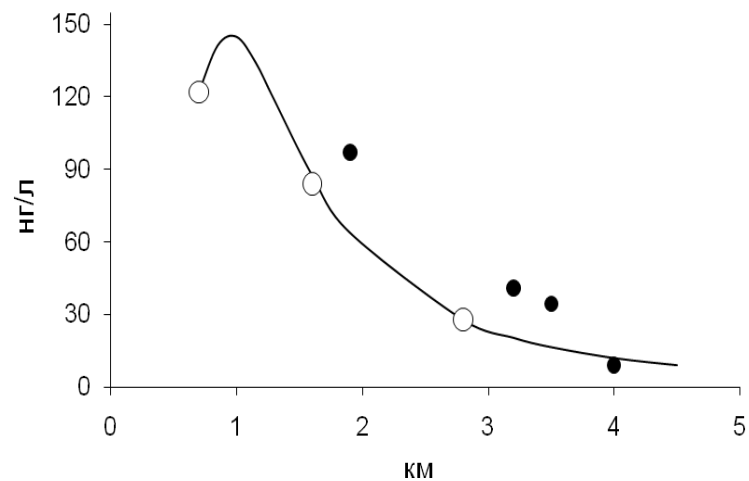
НовЭЗ С-В (осадок)



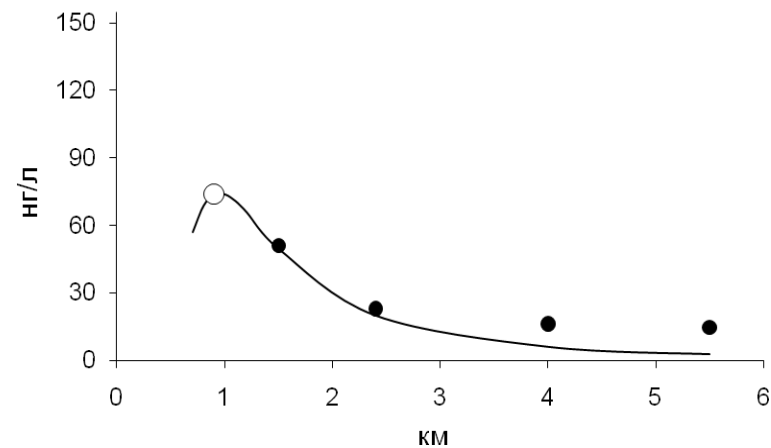
# Барнаульская ТЭЦ – 3



ТЭЦ - 3 ВСВ (бензапирен)



ТЭЦ - 3 СВ (бензапирен)



# Заключение

- Разработаны **малопараметрические** модели реконструкции длительных локальных и региональных выпадений **лёгкой, моно и полидисперсной** примеси. На данных наблюдений загрязнения почвы, листовенного и снегового покрова проведена **апробация** моделей для различных типов источников.
- Методами численного анализа данных наблюдений в окрестностях ряда крупных городов юга Западной Сибири установлены **количественные закономерности** формирования полей регионального загрязнения пылью, тяжёлыми металлами, ПАУ, изменения ионного состава.
- На стационарных постах контроля загрязнения атмосферы гг. Новосибирска, Кемерово, Барнаула, Томска выявлены количественные и качественные закономерности распределения между газами (**SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>**) и анионами (**SO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sup>-</sup>**) в системе **воздух - снег**. Наблюдается сходное поведение суммарных **ПАУ** и бенз(а)пирена<sup>25</sup> в снеговом покрове и **СВМ** в атмосферном воздухе.

- Использование **полидисперсной** модели оценивания в окрестностях автомагистралей, труб предприятий позволяет восстанавливать поля аэрозольных выпадений по **всей оси** следа.
- Снеговой покров является вполне надежным **количественным индикатором** загрязнения атмосферы органическими соединениями, макро и микрокомпонентами. Он может быть использован для оперативного выявления зон **высокого** загрязнения территорий города и его окрестностей.

**Спасибо  
за внимание**