

**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И МЕТОДЫ
АНАЛИЗА ДАННЫХ МОНИТОРИНГА
ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА**

Рапута В.Ф.

ИБМ и МГ СО РАН / СубНИИГМИ

Основные этапы исследования и задачи:

1. Измерение загрязнения окружающей среды
2. Оптимизация системы наблюдений
3. Анализ подфакельных наблюдений
4. Реконструкция полей аэрозольных выпадений
5. Определение параметров источников

3. Анализ подфакельных измерений

Базовая модель переноса примеси

$$u(z) \frac{\partial q}{\partial x} - w \frac{\partial q}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} k(z) \frac{\partial q}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial y} v(z) \frac{\partial q}{\partial y}, \quad (1)$$

$$k \frac{\partial q}{\partial z} + wq \Big|_{z=0} = 0, \quad q \Big|_{|x| \rightarrow \Gamma} \rightarrow 0, \quad q \Big|_{x=0} = M \delta(y) \delta(z-H), \quad (2)$$

$$u(z) = u_1 \frac{\text{Ж } z \text{ Ц}^n}{\text{И } z_1 \text{ Ш}}, \quad k(z) = k_1 \frac{\text{Ж } z \text{ Ц}^m}{\text{И } z_1 \text{ Ш}}, \quad v(z) = k_0 u(z) \quad (3)$$

Лёгкая примесь

$$q(\vec{x}, \vec{\theta}) = \frac{\theta_1}{x^{3/2}} \exp\left\{ -\frac{\theta_2}{x} - \frac{\theta_3 y^2}{x} \right\}. \quad (4)$$

Аэрозоль

$$q_w(\vec{x}, \vec{\theta}) = \frac{\theta_1}{x^{3/2}} \exp\left\{ -\frac{\theta_2}{x} - \frac{\theta_3 y^2}{x} \right\} e^{-\sum_{i=1}^K \frac{p_i \theta_2^{\theta_4 w_i}}{\Gamma(1 + w_i \theta_4) x^{\theta_4 w_i}}} \quad (5)$$

$$\theta_1 = e^{3/2} q_{\max} x_{\max}^{3/2}, \quad \theta_2 = \frac{3}{2} x_{\max}, \quad \theta_3 = \frac{1}{4k_0}, \quad \theta_4 = \frac{1}{k_1(1+n)}.$$

$$r_k = q(x_k, \theta) + \xi_k, \quad (6)$$

$$J_N(\vec{\theta}) = \sum_{k=1}^N \sigma_k^{-2} \left(r_k - q(\vec{x}_k, \vec{\theta}) \right)^2. \quad (7)$$

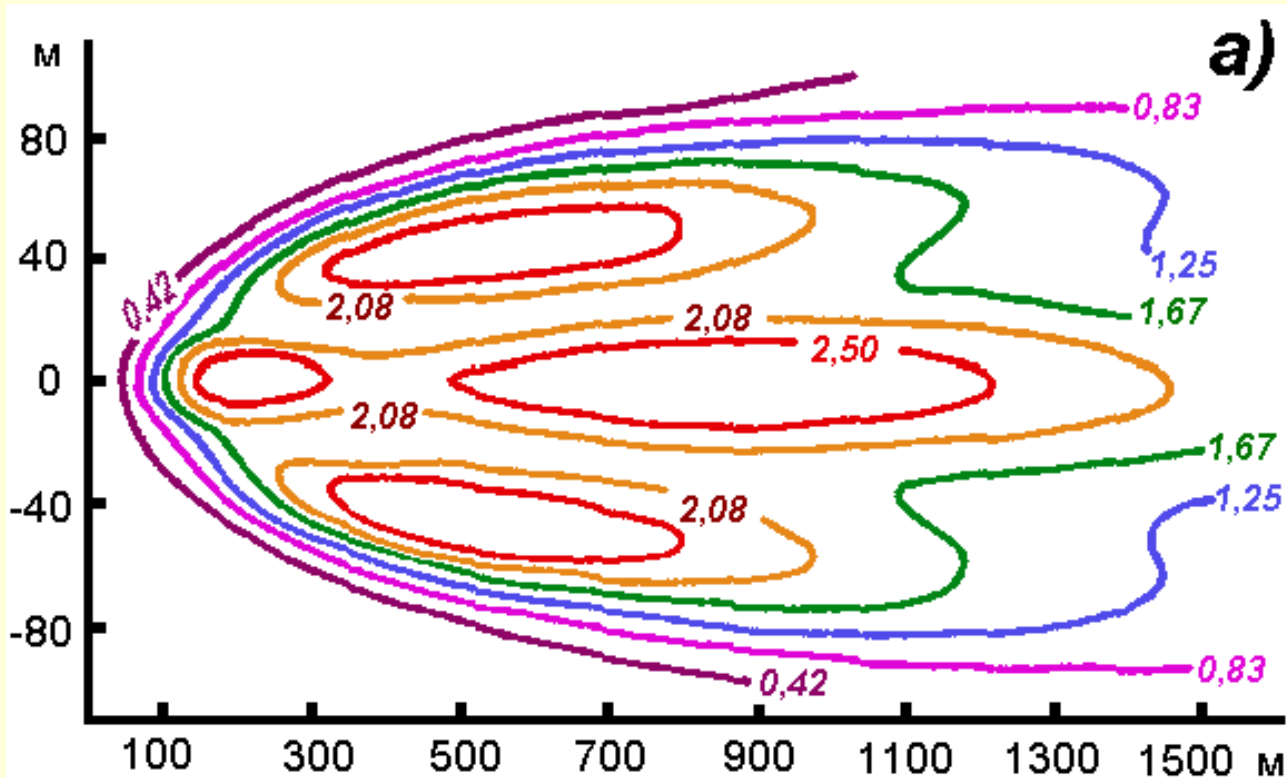


Рис. 1а.
 Дисперсия поля
 наземной
 концентрации
 лёгкой примеси
 для $x_{max} = 600 \text{ м}$,
 $k_0 = 0,8 \text{ м}$

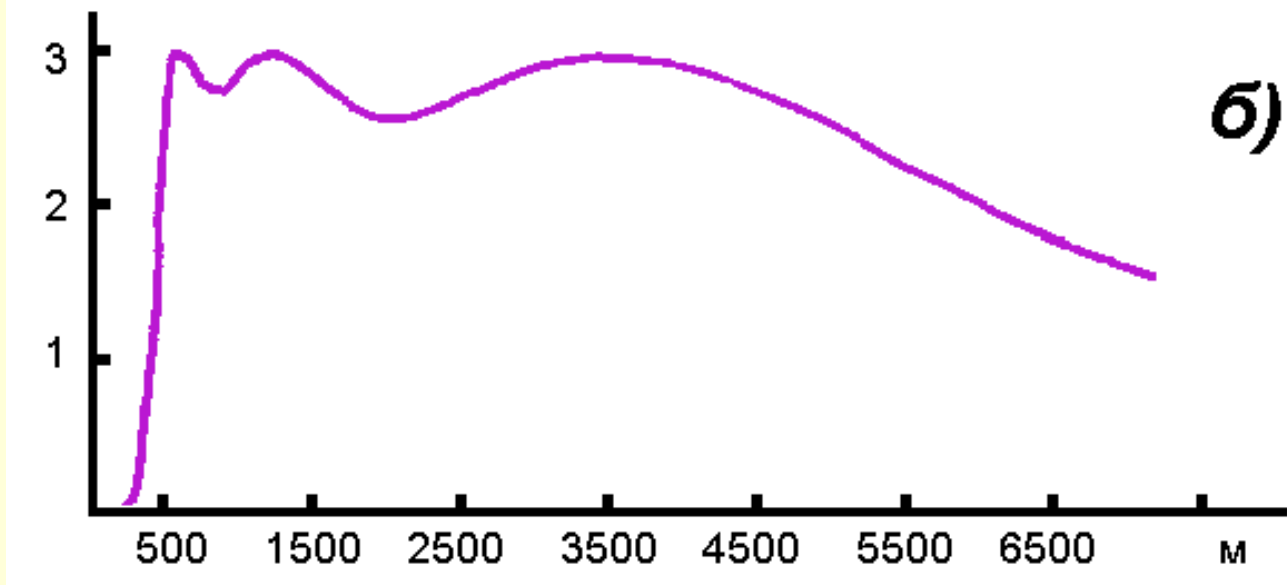


Рис. 1б.
 Дисперсия поля
 осевой
 концентрации
 тяжёлой примеси
 для $x_{max} = 1300 \text{ м}$,
 $w = 20 \text{ см/с}$

4. Реконструкция полей аэрозольных выпадений

$$\bar{q}_{\bar{\tau}} = \int_0^{\infty} q \rho_{\tau, \bar{\tau}}(q) dq \quad (8)$$

4.1. Аэрозольное загрязнение локального масштаба

$$\bar{q}(r, \varphi) = \int_{\Omega} q(r, \varphi, K_1, u_1) P(K_1, u_1) G(\varphi + 180^\circ) dK_1 du_1 \quad (9)$$

$$P(K_1, u_1) = p_{\check{y}}(u_1) p_{\check{w}}(\lambda), \quad \lambda = \frac{k_1}{u_1}, \quad p_{\check{w}}(\lambda) = \delta(\lambda - \bar{\lambda}) \quad (10)$$

Лёгкая примесь

$$\begin{aligned} \bar{q}(r, \varphi, \vec{\theta}) &= \frac{QG(\varphi + 180^\circ) \bar{\lambda}}{\sqrt{2\pi} (1+n) \varphi_0 r^2} e^{\frac{-H^{n+1}}{\bar{\lambda} (1+n)^2 r} u} \int_0^u p_{\check{y}}(u_1) du_1 = \\ &= \theta_1 \frac{G(\varphi + 180^\circ)}{r^2} e^{-\frac{\theta_2}{r}} \end{aligned} \quad (11)$$

$$\theta_1 = \frac{Q\bar{\lambda}}{\sqrt{2\pi} (1+n)\varphi_0} \int_0^u p'(u_1) du_1, \quad \theta_2 = \frac{H^{1+n}}{\bar{\lambda} (1+n)^2} \quad (12)$$

Монодисперсный аэрозоль

$$q_w(r, \varphi, \vec{\theta}) = \theta_{1w} \Psi G(\varphi + 180^\circ) \Psi r^{\theta_{3w}} \Psi e^{-\frac{\theta_2}{r}} \quad (13)$$

$$\theta_{1w} = \frac{QH^{(1+n)\omega_2}}{\sqrt{2\pi} \varphi_0 (1+n)^{2\omega_2+1} \cdot \bar{\lambda}^{-\omega_2-1} \cdot \Gamma(1+\omega_2)}, \quad (14)$$

$$\theta_{3w} = -2 - \omega_2, \quad \omega_2 = \frac{w}{(1+n)\bar{\lambda}_1\bar{u}_1}$$

Новосибирский оловокомбинат

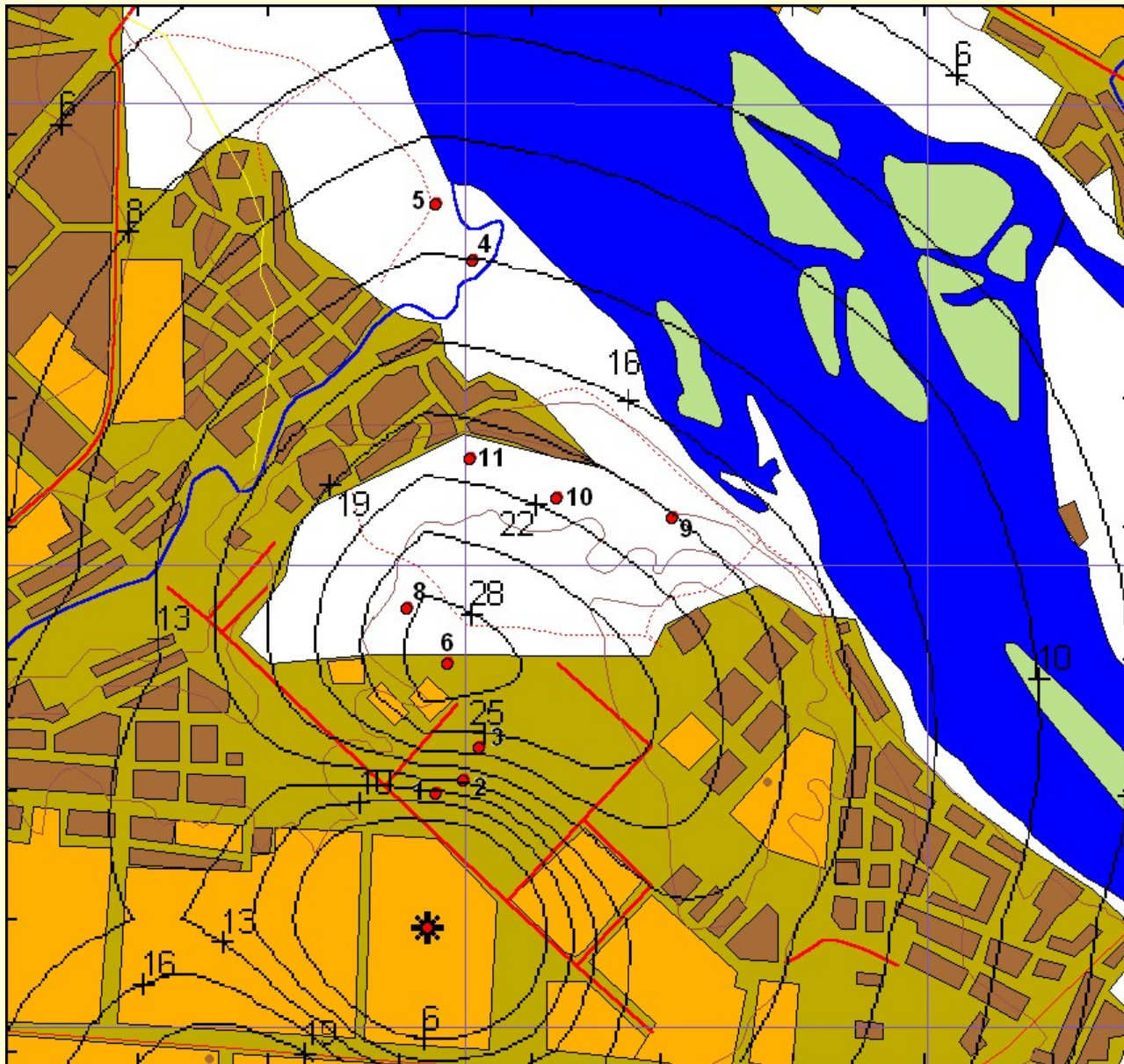


Рис. 2.
Содержание
мышьяка
в листьях
берёзы
(г/т)

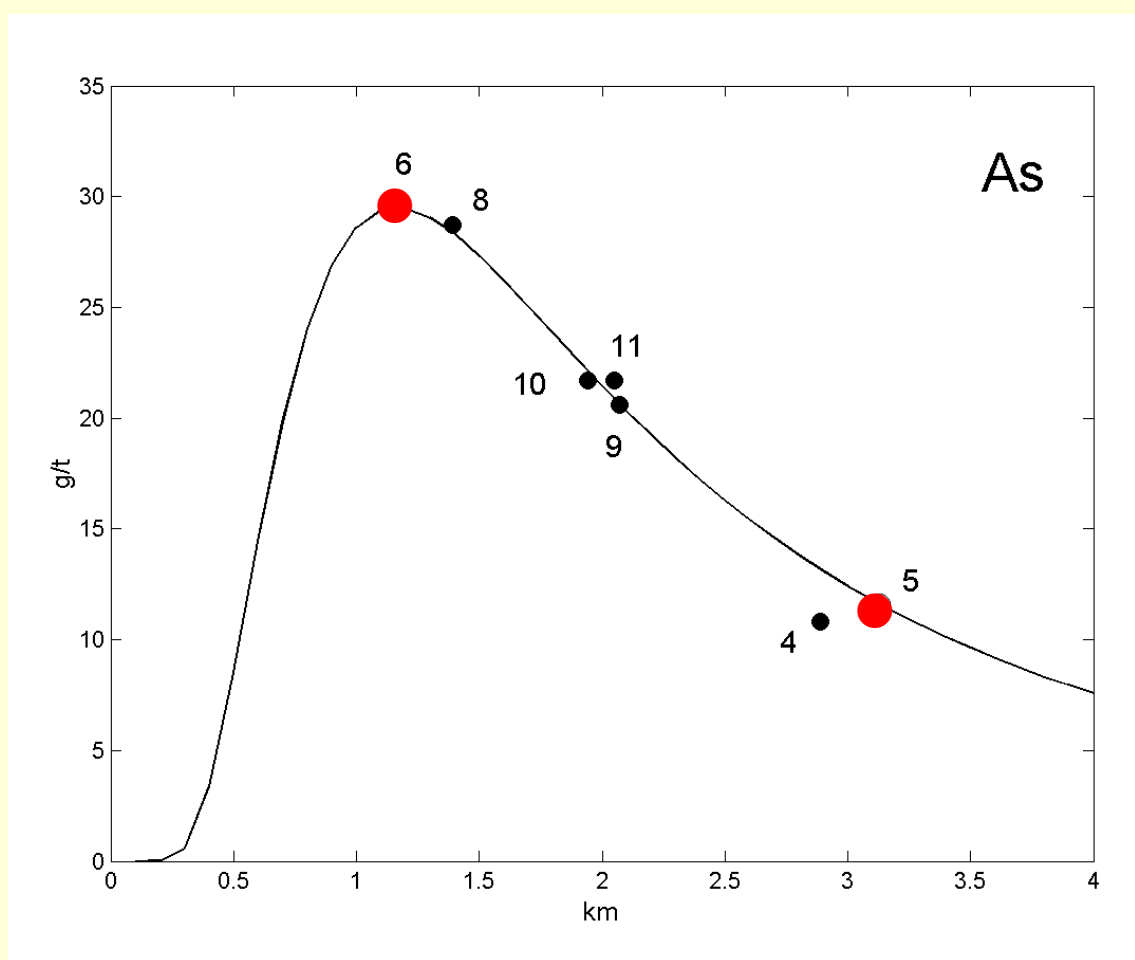


Рис. 3. Восстановленные содержания мышьяка в листьях берёзы (г /т) на маршруте пробоотбора.

● - опорные точки, ● - контрольные точки наблюдений,
— - рассчитанная концентрация.

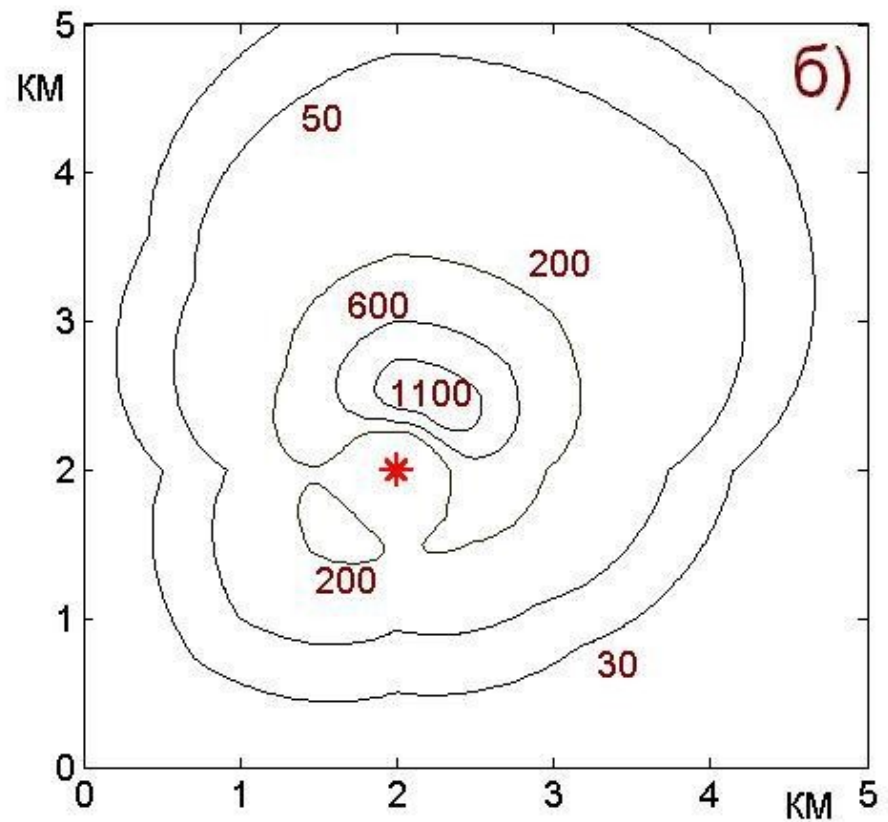
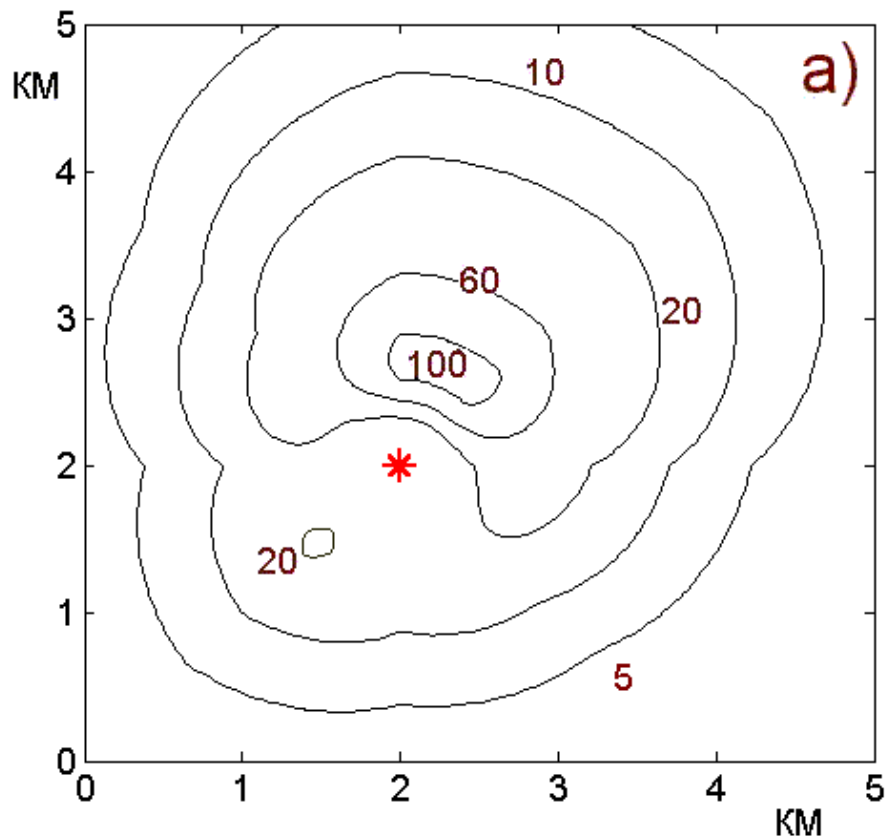
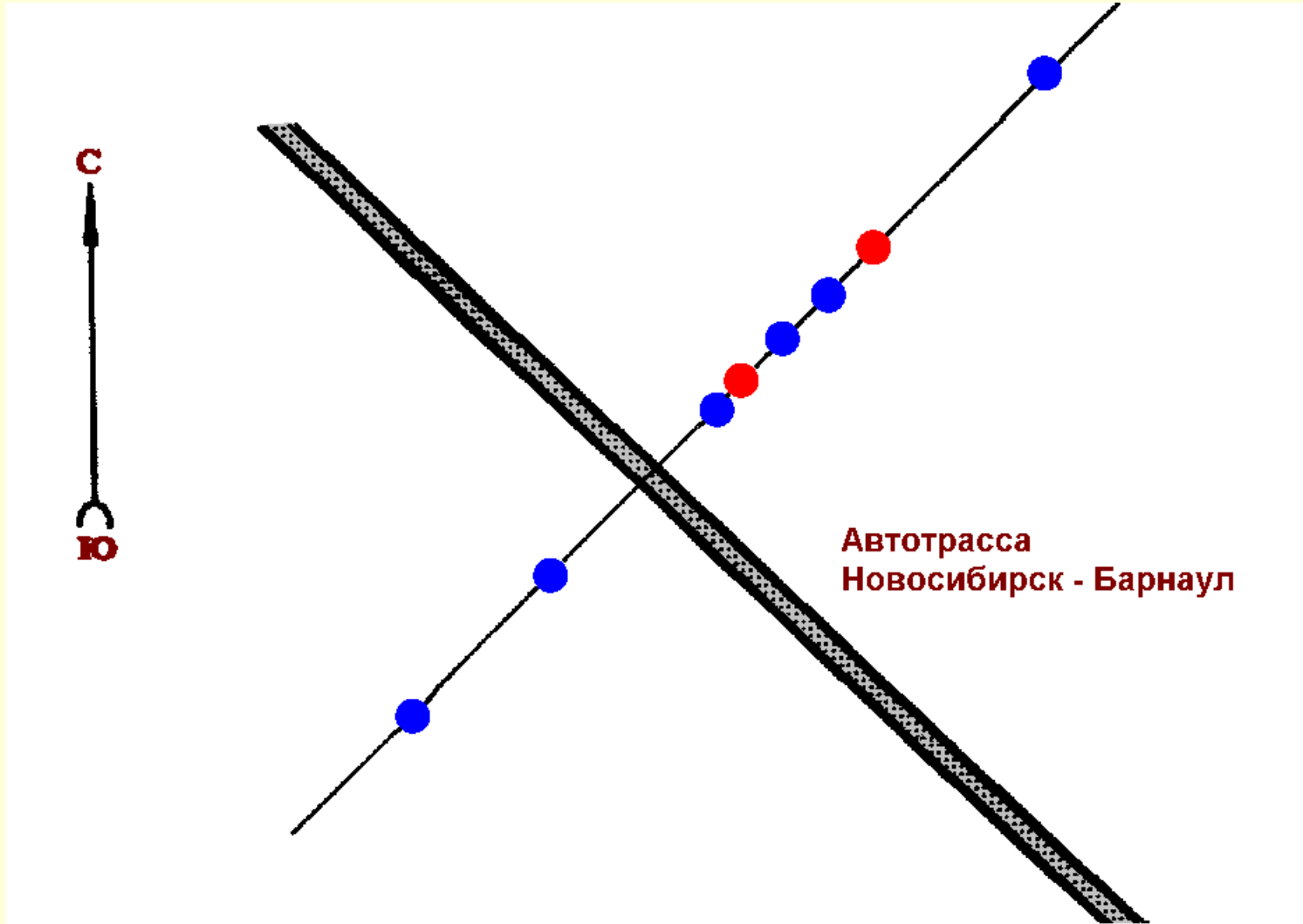


Рис. 4. Восстановленные уровни выпадений мышьяка ($\mu\text{кг/л}$) за зимние сезоны **1994 – 1995 гг,** **2000 – 2001 гг.**

Автоматрираль



а) Свинец

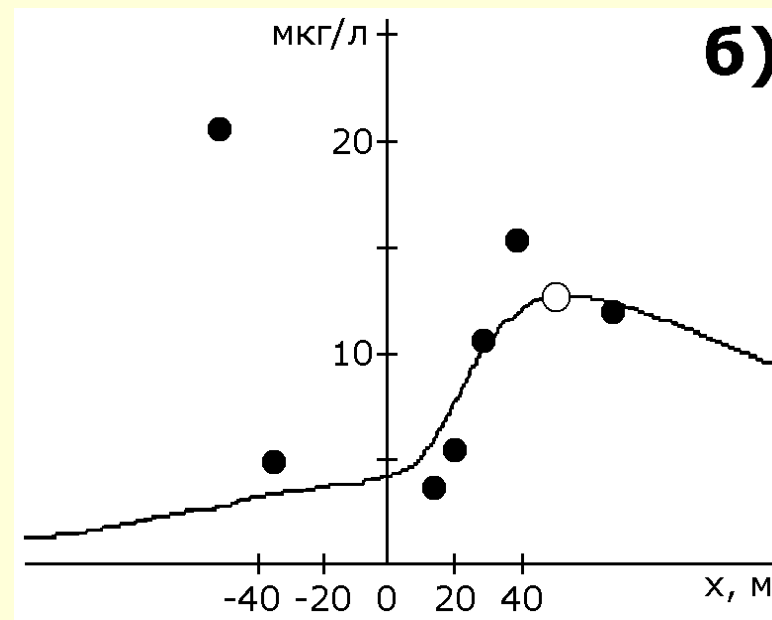
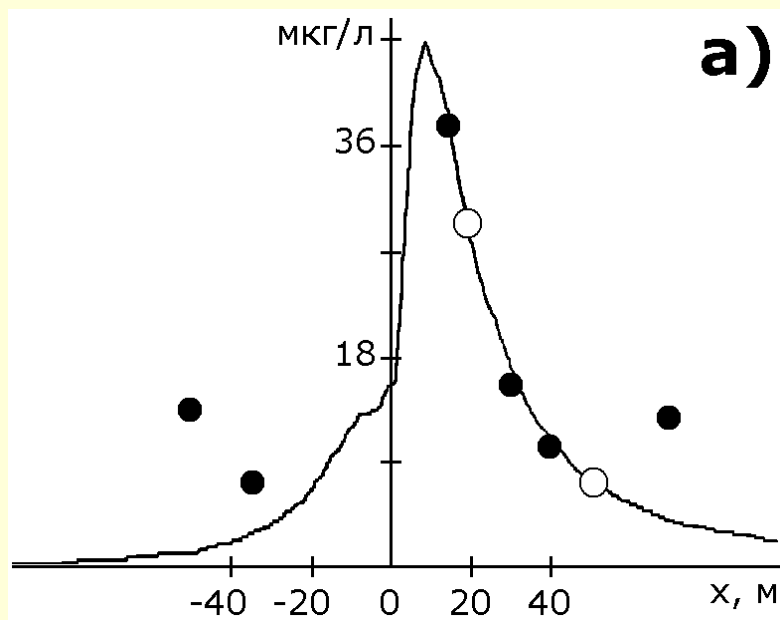


Рис. 5. Удельное содержание **свинца** в крупнодисперсной части (а) и суммарно в мелкодисперсной и водорастворённых частях (б)

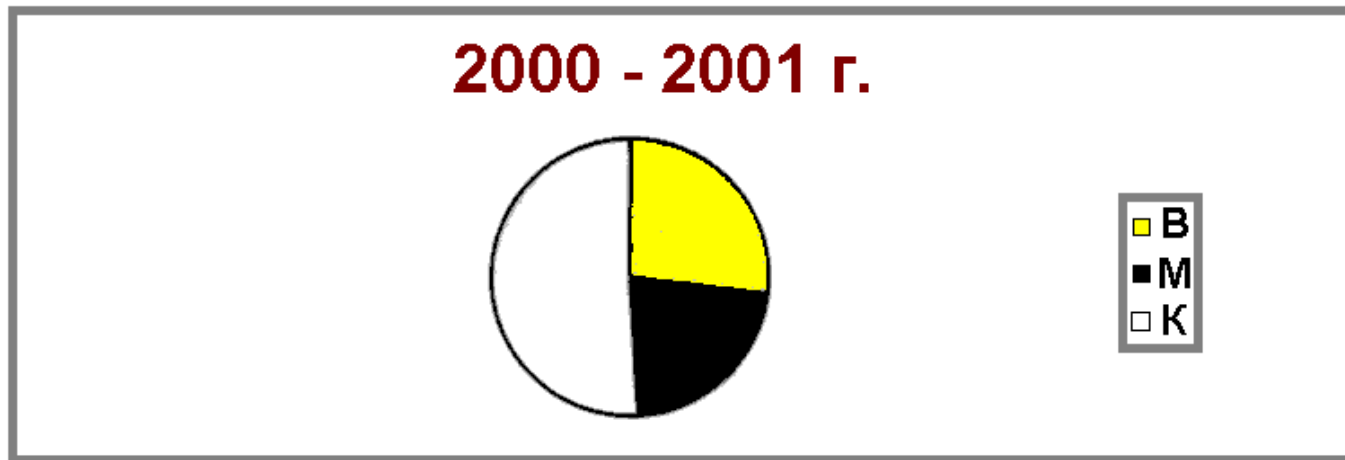
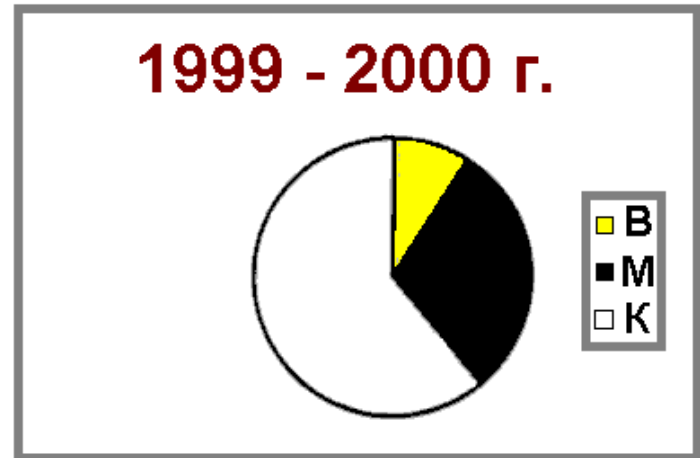
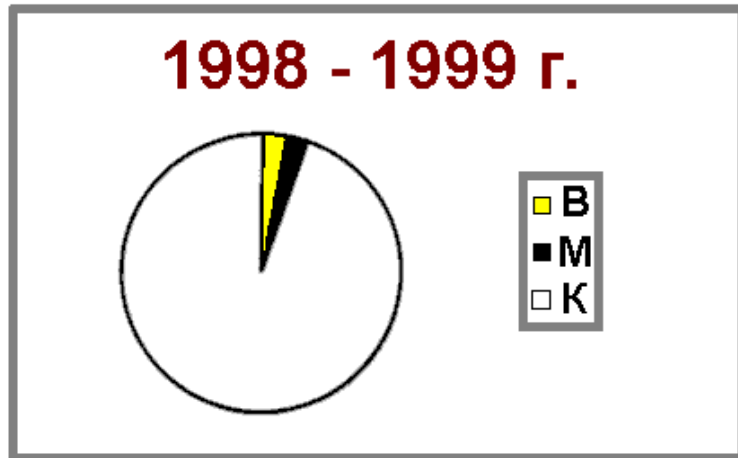


Рис. 6. Распределение **свинца** по фракциям на расстоянии 50 м от полотна дороги

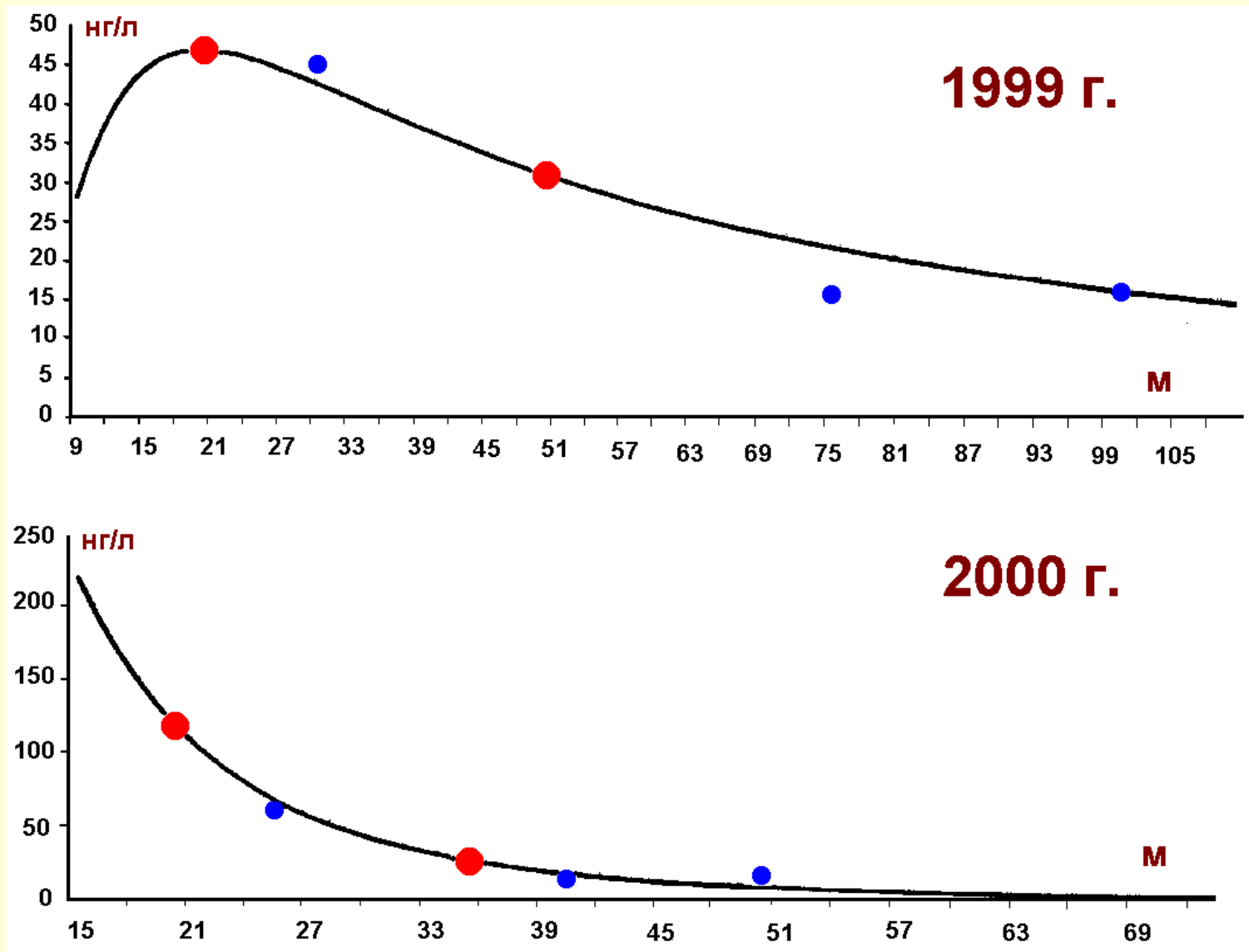


Рис. 7. Рассчитанное и измеренное удельное содержание бенз(а)пирена в снеге в конце зимы 1999 и 2000 г.

Таб. 1. Оценки суммарных выпадений ПАУ

ПАУ	Оценка выпадений, M, г/км	
	1999 г.	2000 г.
Бенз(а)пирен	0,16	0,55
Флуорантен	1,2	1,9
Пирен	0,6	1,5

Бенз(а)пирен - 2004

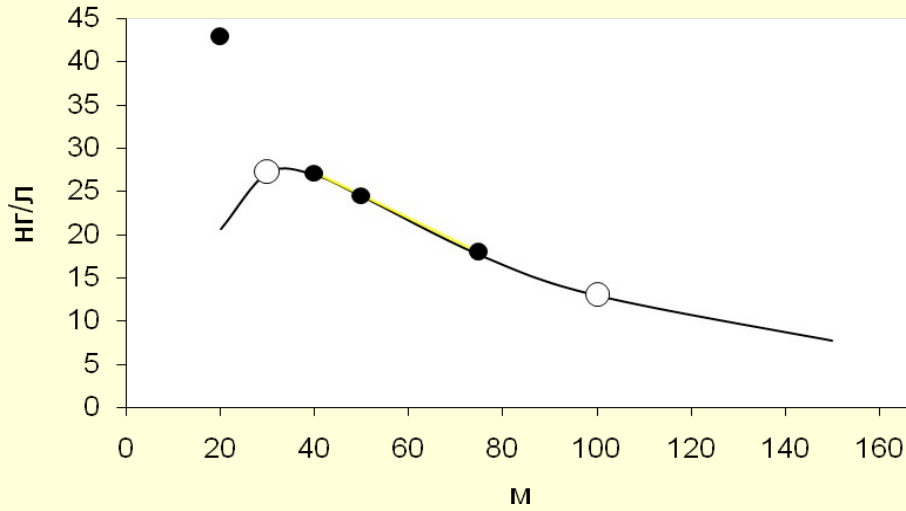


Рис. 8. Восстановленные аэрозольные выпадения БП в окрестности автотрассы в зимнем сезоне 2003-2004 г.г.

Бенз(а)пирен - 2008

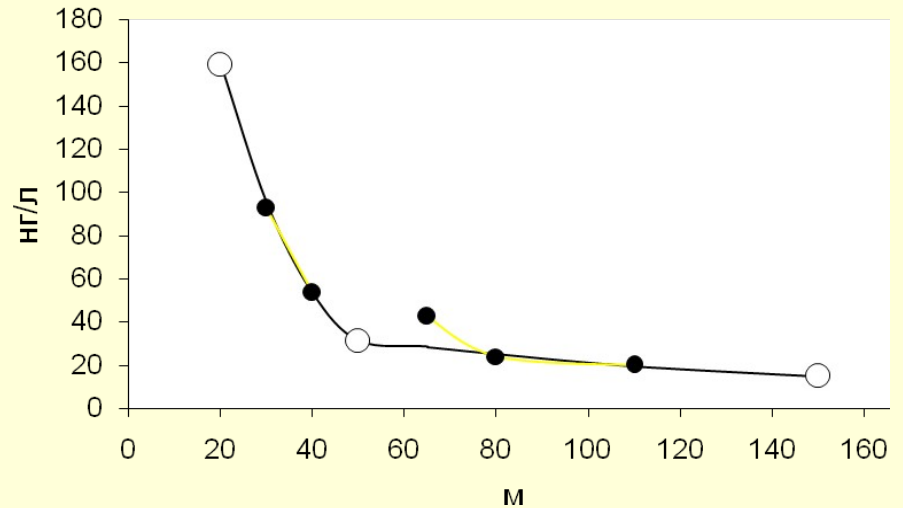


Рис. 9. Восстановленные аэрозольные выпадения БП в окрестности автотрассы в зимнем сезоне 2007-2008 г.г.

4.2. Региональное загрязнение

$$Q(x, y) = \frac{1}{2\pi uH} \iint_S \frac{m(\xi, \eta) \chi G \frac{\text{ж}}{3} \arctg \frac{y - \eta}{x - \xi} + 180^\circ}{\sqrt{(x - \xi)^2 + (y - \eta)^2}} d\xi d\eta \quad (15)$$

Метод асимптотических разложений:

$$Q_1(x, y, \theta) = \theta_1 \frac{g(\varphi_0) + \frac{\text{ж}\pi}{3} - 1 \frac{\text{ц}}{\text{ш}} g\ddot{\varphi}(\varphi_0)}{r} + \theta_2 \frac{g\ddot{\varphi}(\varphi_0) x}{r^3} + \theta_3 \frac{g\ddot{\varphi}(\varphi_0) y}{r^3} \quad (16)$$

Замечание

$$Q(r, \varphi, \theta) = \frac{\lambda M g(\varphi)}{2\pi r} \iint_{\Omega} \frac{B(u\ddot{\varphi}, h\ddot{\varphi})}{u\ddot{\varphi} \chi h\ddot{\varphi}} d\Omega = \frac{\theta \chi g(\varphi)}{r}, \quad (17)$$

$$\theta = \frac{\lambda \chi M}{2\pi} \iint_{\Omega} \frac{B(u\ddot{\varphi}, h\ddot{\varphi})}{u\ddot{\varphi} \chi h\ddot{\varphi}} d\Omega, \quad \iint_{\Omega} \frac{B(u\ddot{\varphi}, h\ddot{\varphi})}{u\ddot{\varphi} \chi h\ddot{\varphi}} d\Omega = \frac{1}{u \chi h} \iint_{\Omega} B(u\ddot{\varphi}, h\ddot{\varphi}) d\Omega = \frac{1}{u \chi h}$$

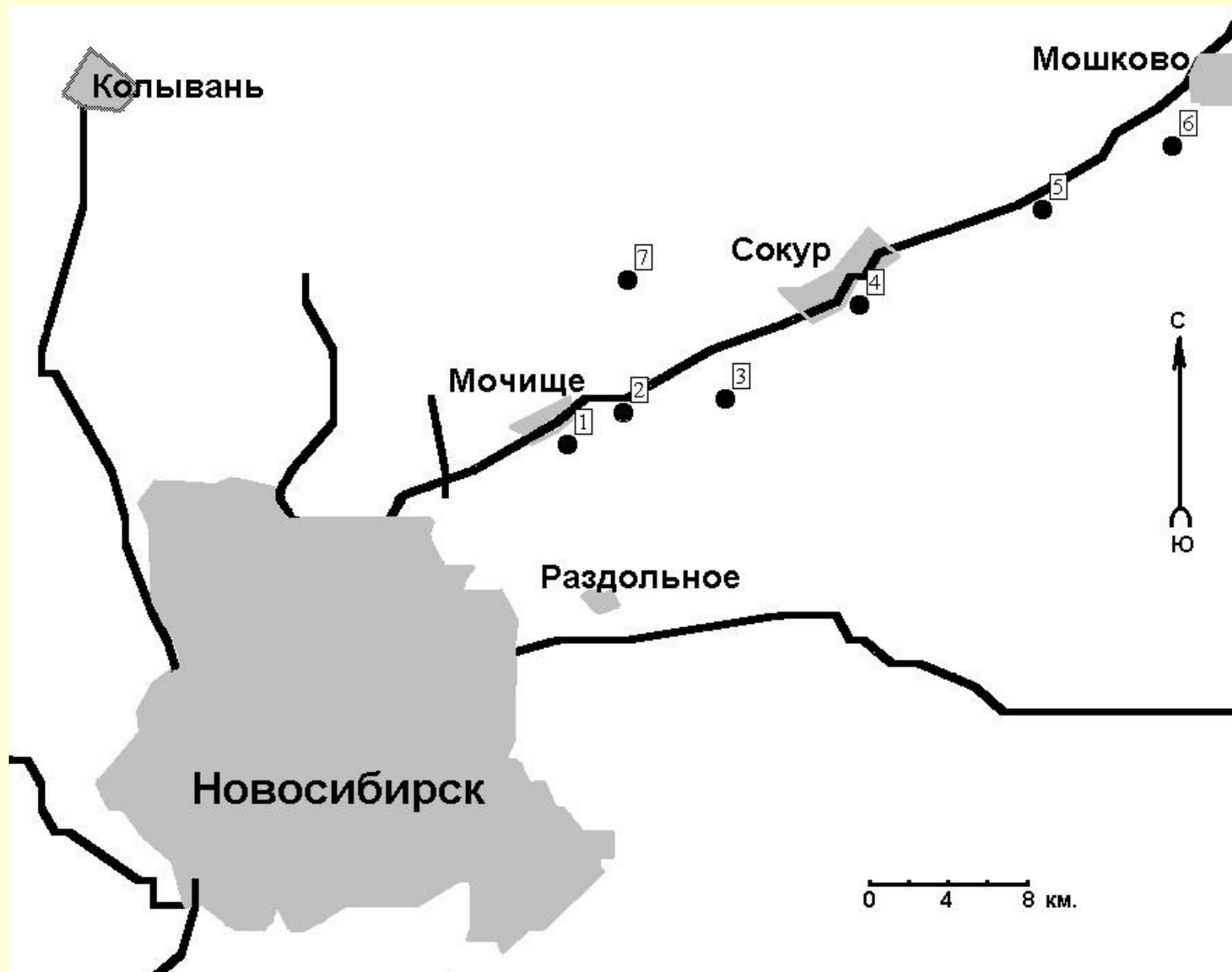


Рис. 10. Схема маршрутных снегосъёмок в окрестностях Новосибирска

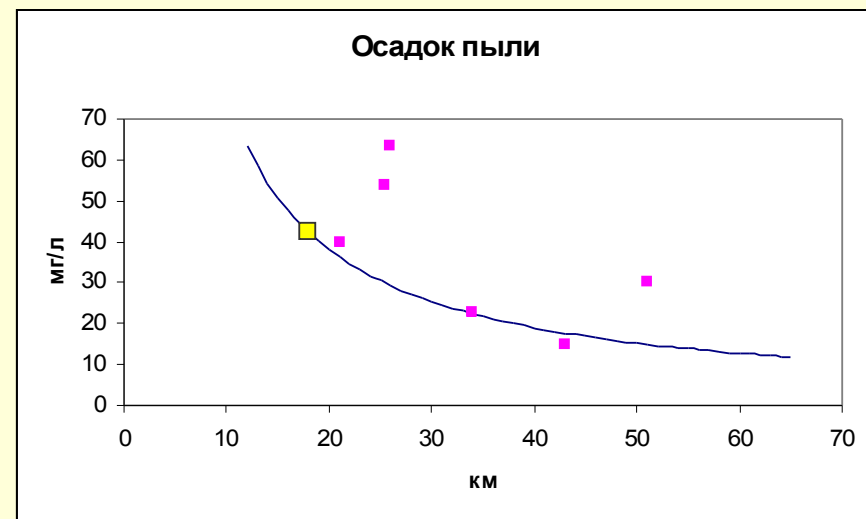
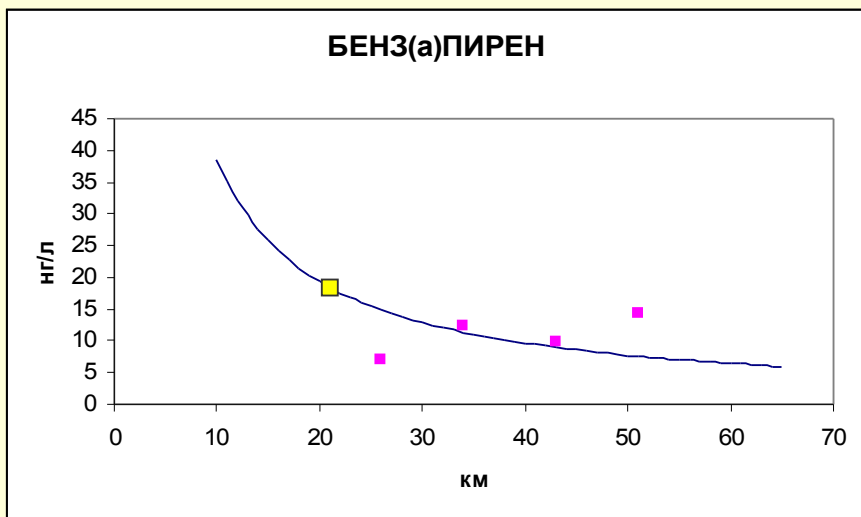
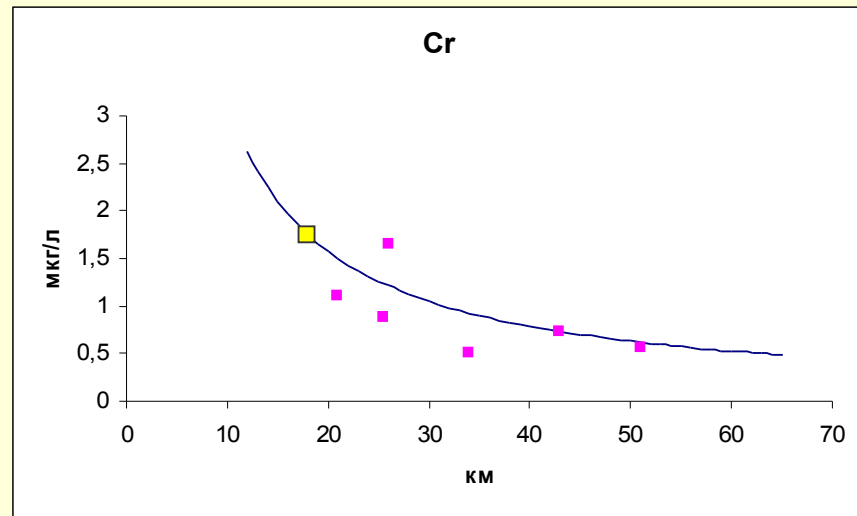
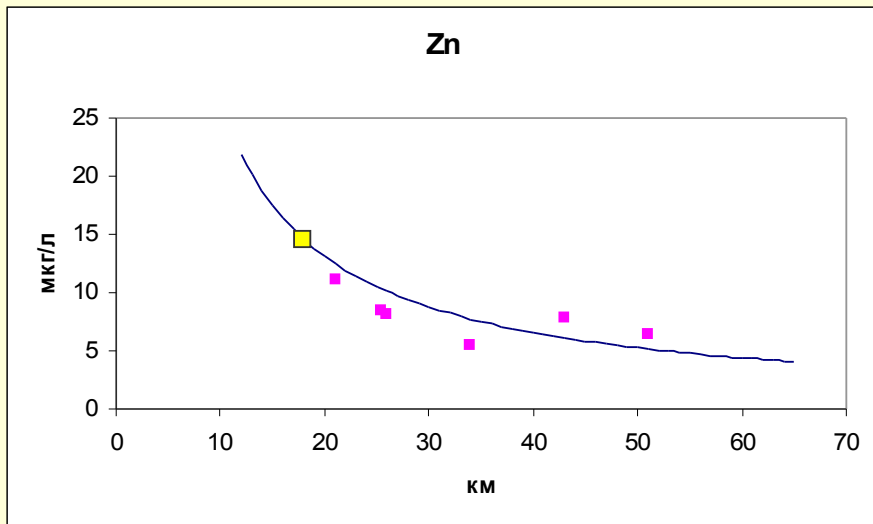


Рис. 11. Концентрация ТМ, БП и пыли в направлении на северо-восток от Н-ска (2006, 2007 гг.)

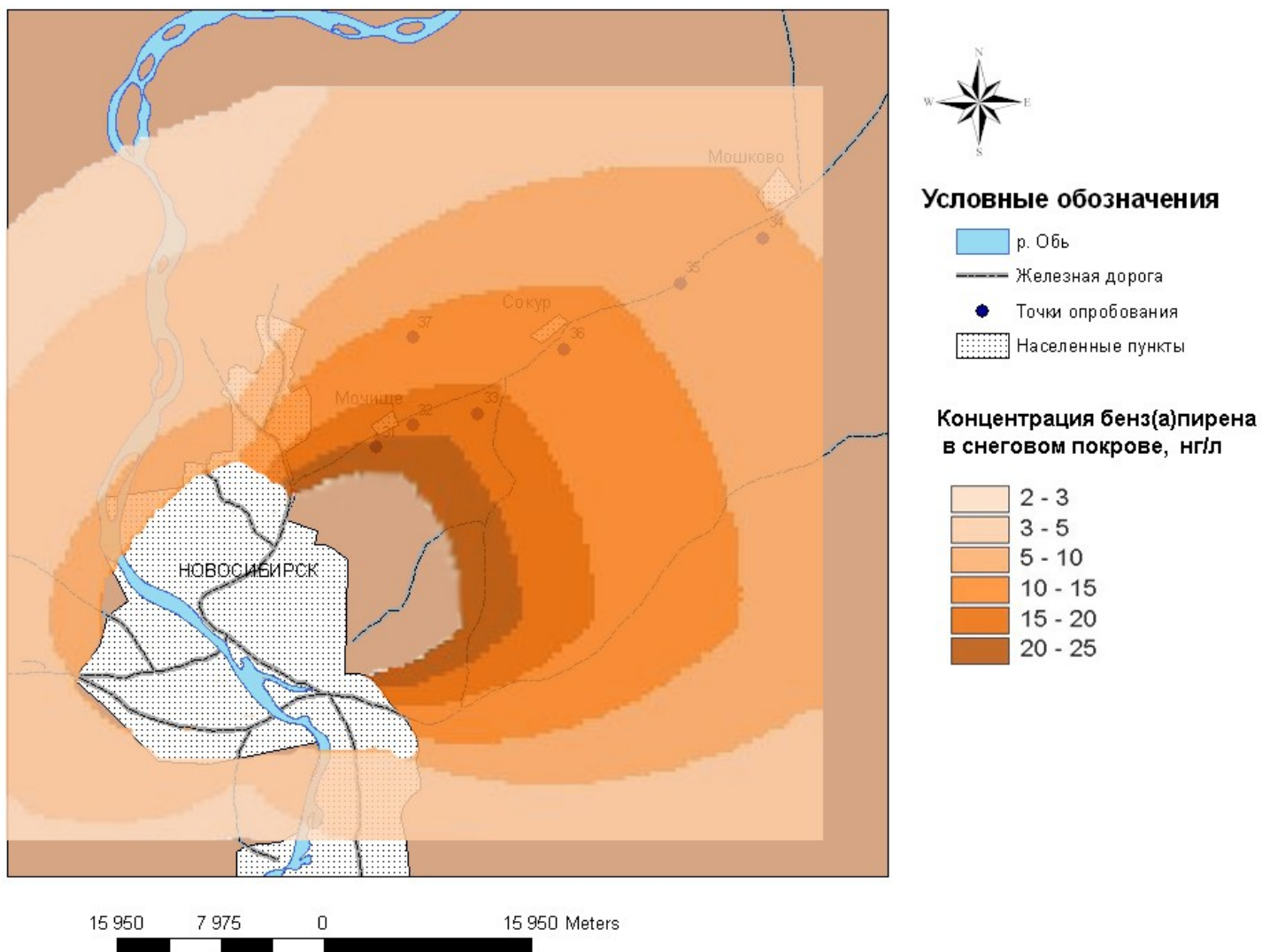


Рис. 12. Восстановленное по модели (17) поле аэрозольных выпадений бенз(а)пирена (нг/л) в окрестностях Н-ска

Заключение

- Численный анализ данных наблюдений показывает существование **достаточно простых закономерностей** формирования полей газового и аэрозольного загрязнения территории города.
- **По небольшому числу точек измерения** и доступной входной информации показана возможность построения количественных моделей длительного аэрозольного загрязнения местности источниками различных типов.
- Применение процедур **оптимального планирования систем наблюдений** позволяет существенно повысить точность оценивания параметров и полей загрязнения.
- Следует отметить экономичность и особую эффективность **мониторинга снежного покрова** для контроля выбросов и уровней загрязнения в окрестностях предприятий.
- Цикл проведённых работ может составить основу для разработки **комплексной системы мониторинга** локального и регионального загрязнения территорий.