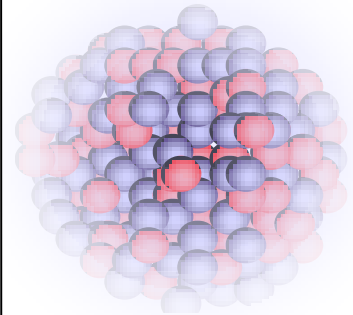


Подход к измерению активности выброса радиоактивных веществ по данным мониторинга радиационной обстановки

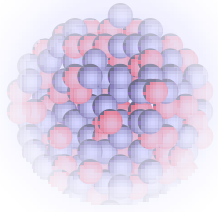
Рафаэль Арутюнян

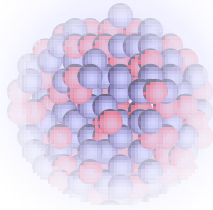
Константин Огарь

Олег Ушмаев



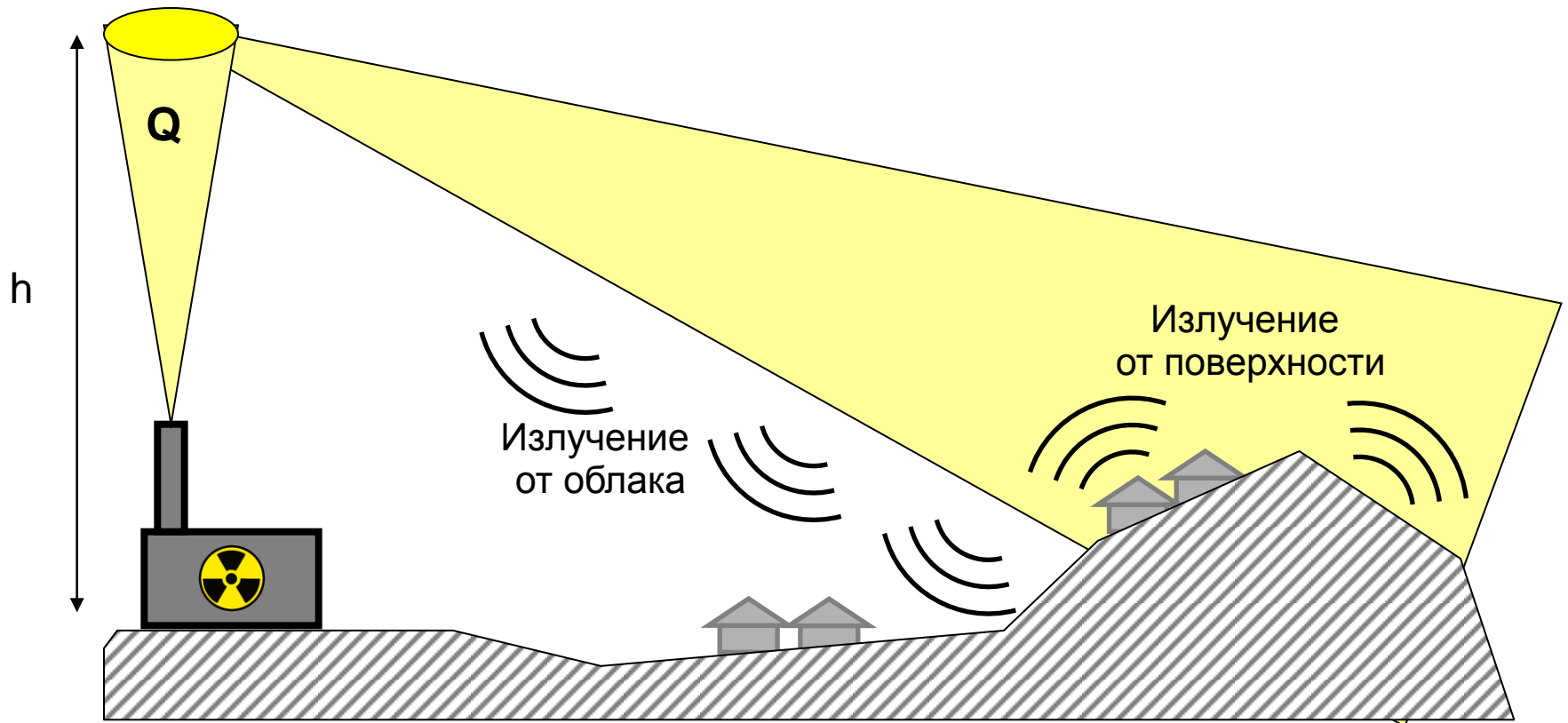
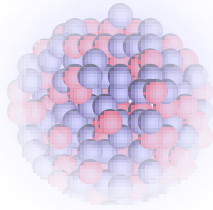
Авария на АЭС



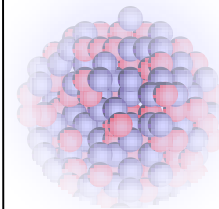


- Авария на АЭС сложное событие
- Нас интересует вопрос определения активности выброса по данным мониторинга за пределами АЭС

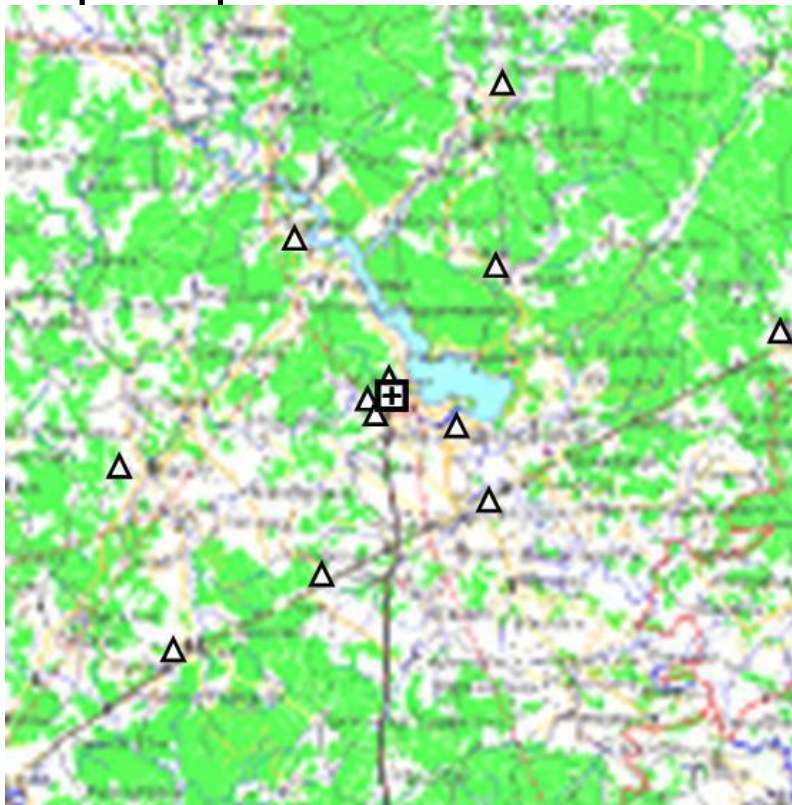
Процесс распространения загрязнения за пределами АЭС



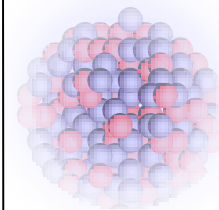
Инструментальные средства



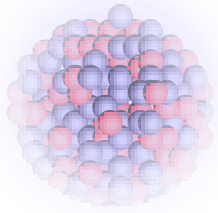
- Источник данных: датчики мощности дозы гамма-излучения автоматизированных систем контроля радиационной обстановки (АСКРО).
- Примеры АСКРО:



Неформальная постановка задачи

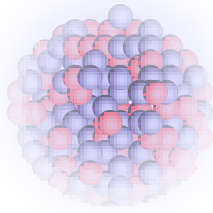


- Определить основные параметры выброса по (высота, изотопный состав и активность) по данным измерения мощности дозы (взвешенная сумма плотностей изотопов)
- Отягчающее обстоятельство: многие параметры окружающей среды неизвестны

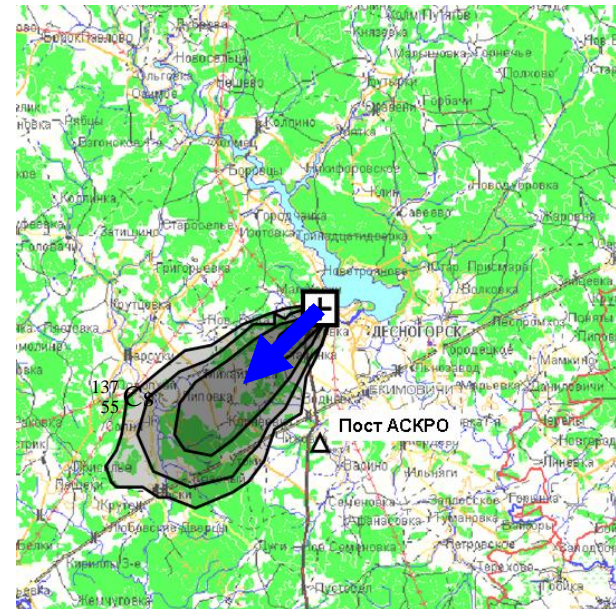
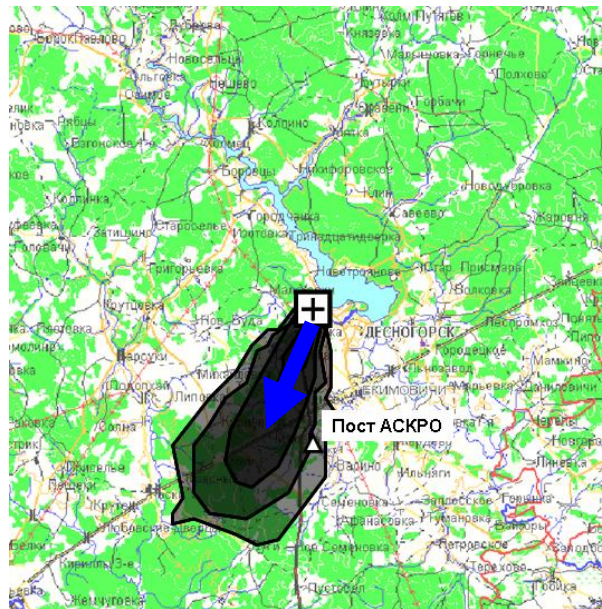
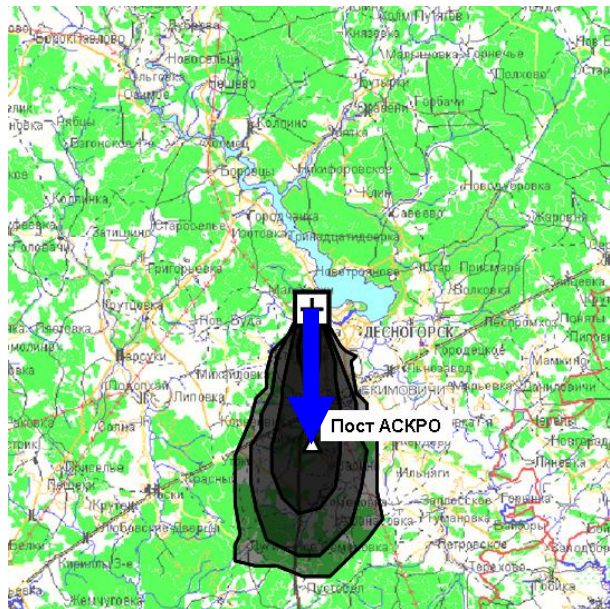


Базовая идея

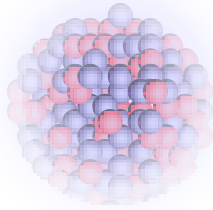
Модельный (гипотететический) пример #1



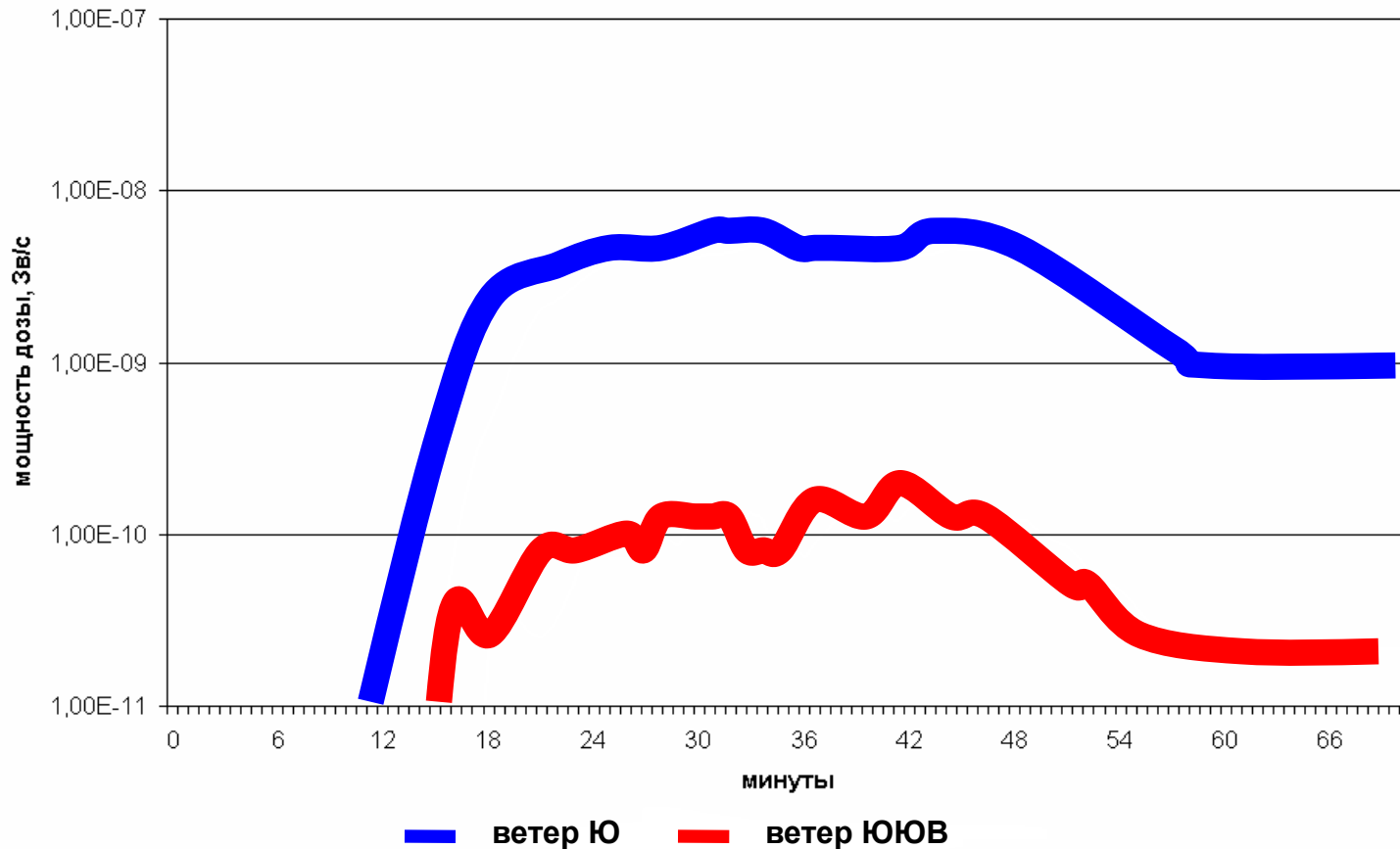
- Известно все, кроме активности и направления ветра
- Выброс $^{137}_{55}\text{Cs}$, 10^5 Ки (1% от выброса $^{137}_{55}\text{Cs}$ на ЧАЭС, 0.2% от общей активности)



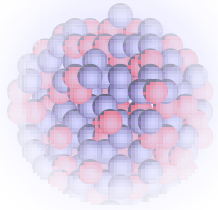
Наблюдаемые мощности дозы



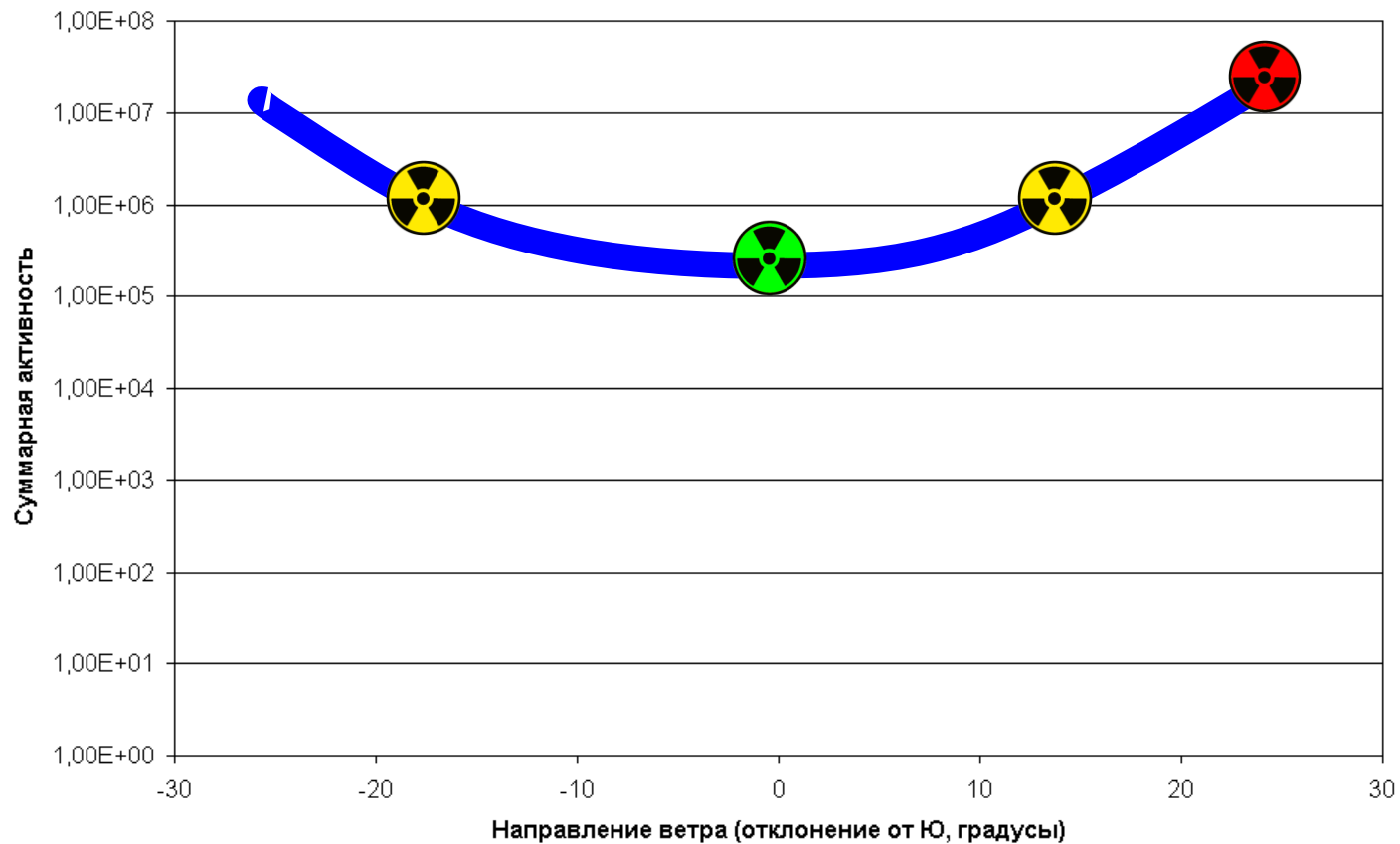
- Какова активность выброса?



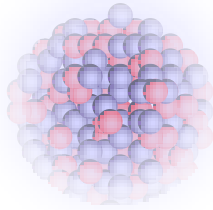
Гипотезы



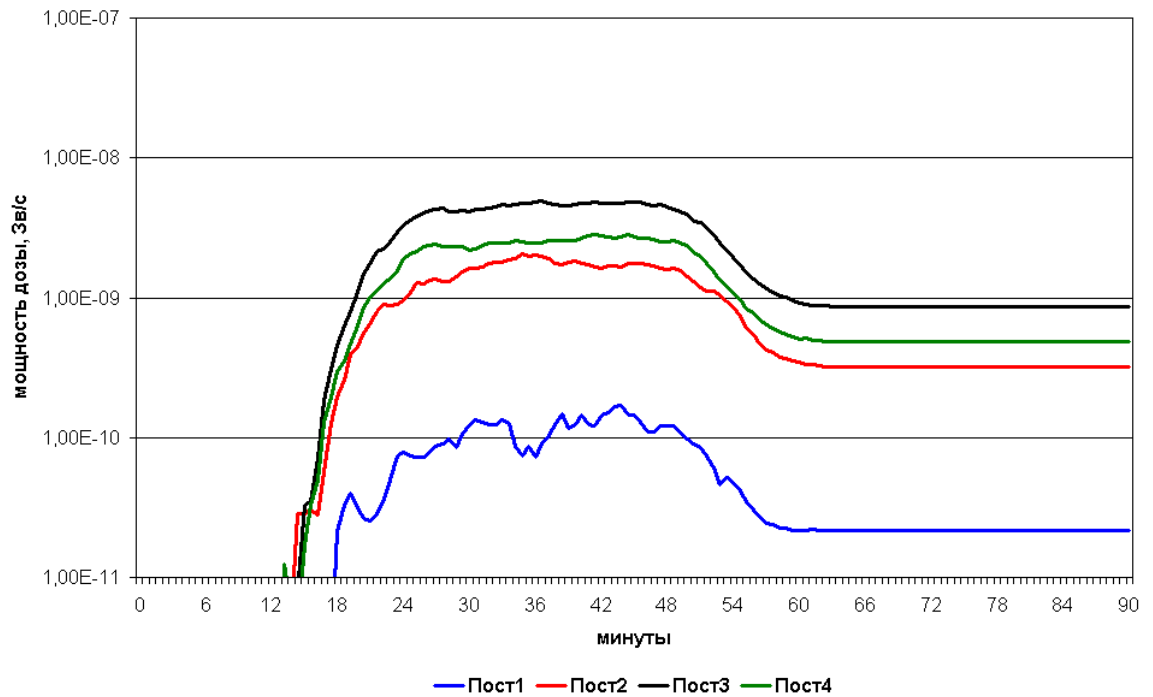
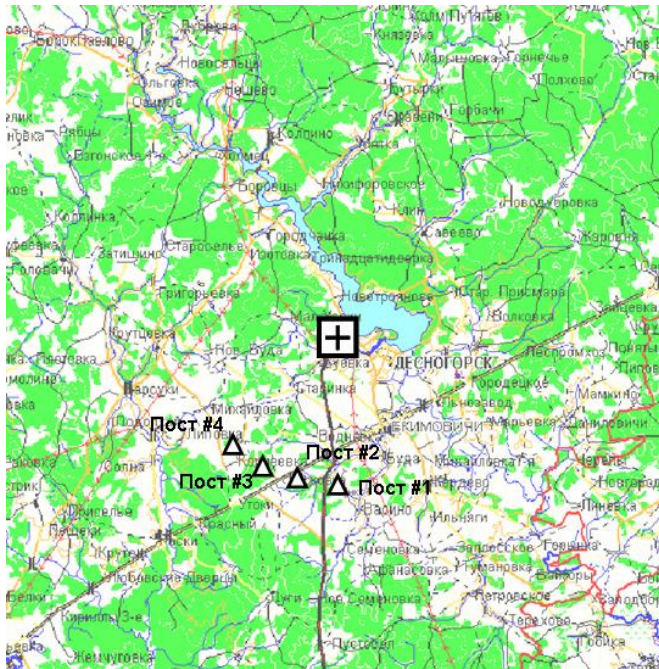
- Какова активность?



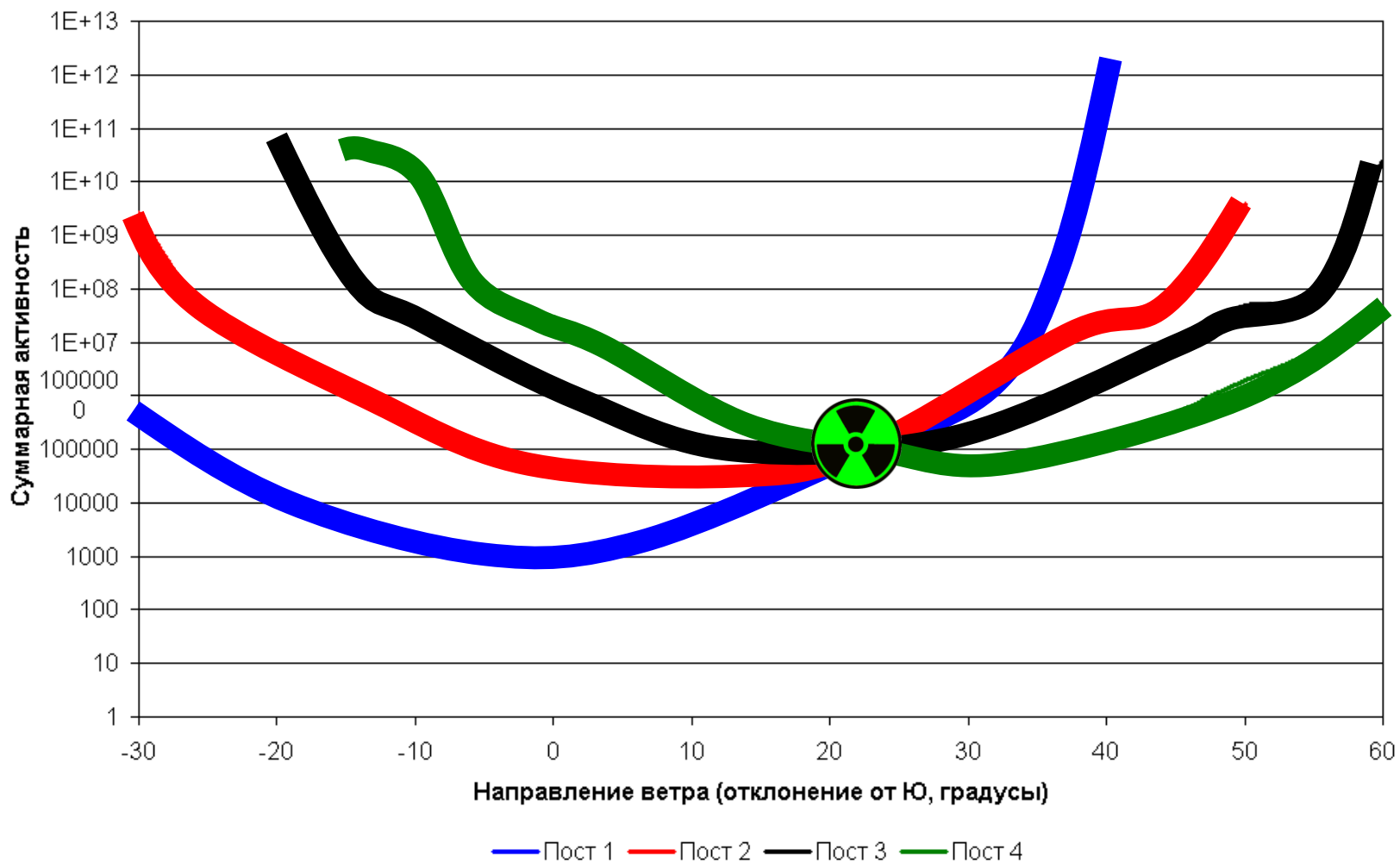
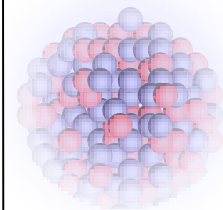
Модельный пример #2

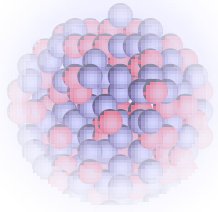


- Четыре поста АСКРО



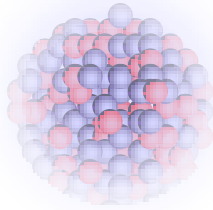
Объединение гипотез





Формальное решение

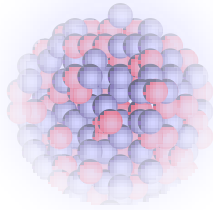
Постановка задачи



- Дано
 - Результаты измерений мощности дозы
$$Y(t) = (Y_1(t), \dots, Y_n(t))$$
 - Векторная функция известных параметров
$$R(t) = (R_1(t), \dots, R_m(t))$$
 - Вектор неизвестных параметров P
- Требуется построить отображение

$$F : Y_{[0,t]} \times R_{[0,t]} \rightarrow \mathbb{R}^n$$

Модель переноса и измерений



- Перенос и оседание радионуклидов



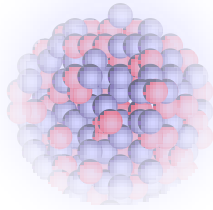
- Модельные значения показаний датчиков

$$G : P \times R_{[0,t]} \rightarrow V(t) = (V_1(t), \dots, V_n(t))$$

- Модель измерений

$$Y_i(t) = V_i(t) \varepsilon_i^m + \varepsilon_i^a(t)$$

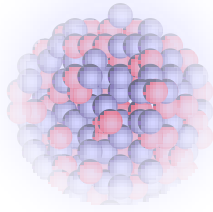
Поиск решения



- Используем метод максимального правдоподобия

$$\hat{P} = \arg \max_P L(P, Y(t), R(t), t)$$

$$L(P, Y(t), R(t), t) = \ln f(Y(t) | V(t), t)$$



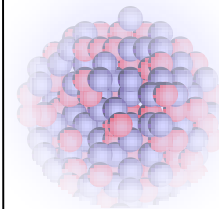
Поиск решения (2)

- Следствие из свойств процесса переноса радионуклидов в атмосфере.

$$V_i(t) = \alpha_{ref} h^i(R, p) \underline{Q^*(q, t)}$$

- Оценка неизвестных параметров распадается на две последовательно решаемые задачи:
 - Оценка интегральной активности выброса в пересчете на референсный изотоп
 - Оценка изотопного состава выброса

Оценка интегральной активности



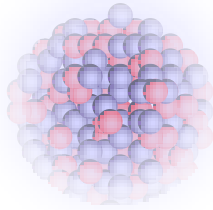
- Модель измерений $Y_i(t) = \varepsilon_i^m \alpha_{ref} h^i(R, p) Q^*(q, t) + \varepsilon_i^a(t)$
- Характер шума неизвестен

- Предложение

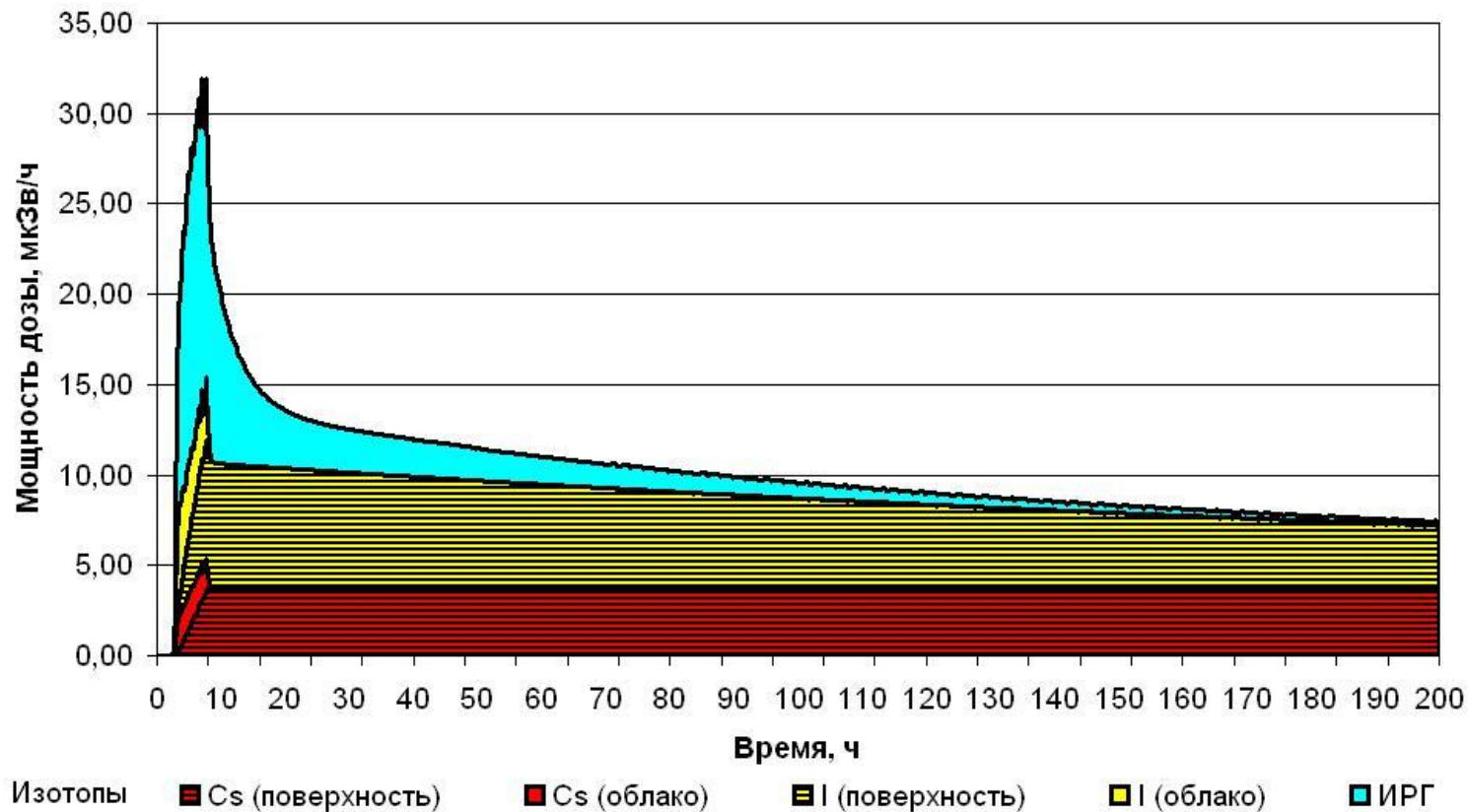
$$p, Q^* = \arg \min_{p, Q} \rho_\alpha(H(R, p), Y)$$

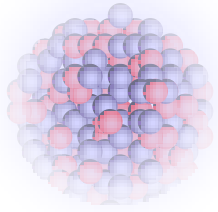
$$\rho_\alpha = \sum (Q^* h_i - Y_i)^\alpha$$

Оценка изотопного состава



- Расслоение по периоду полураспада

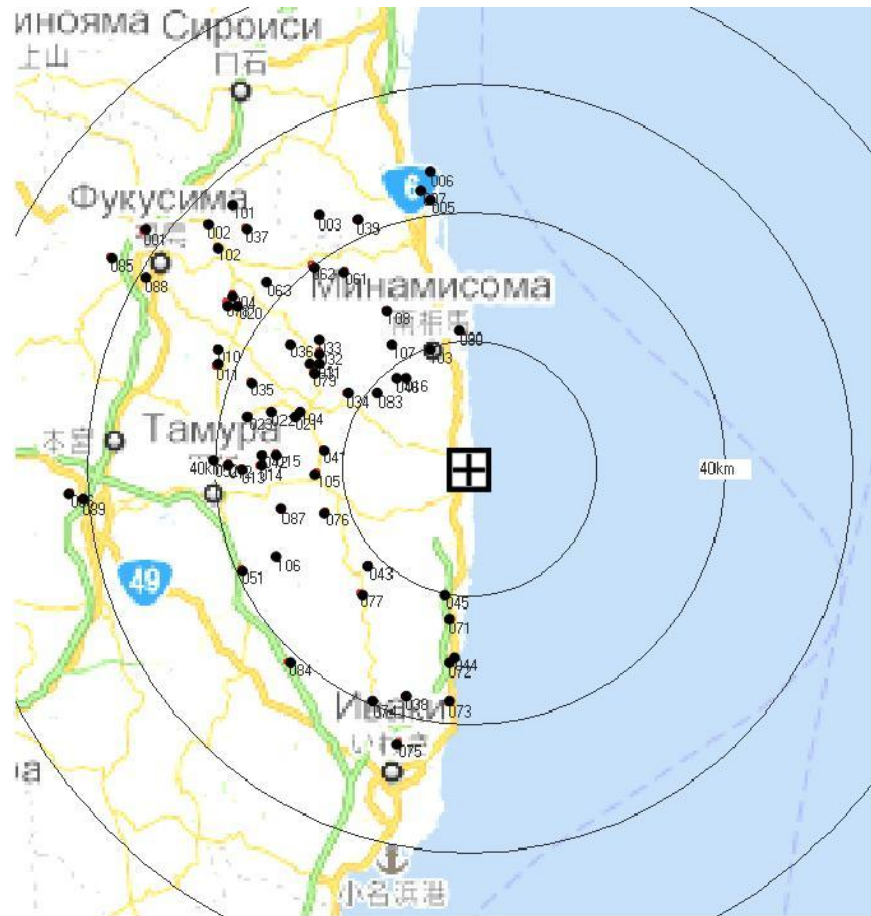
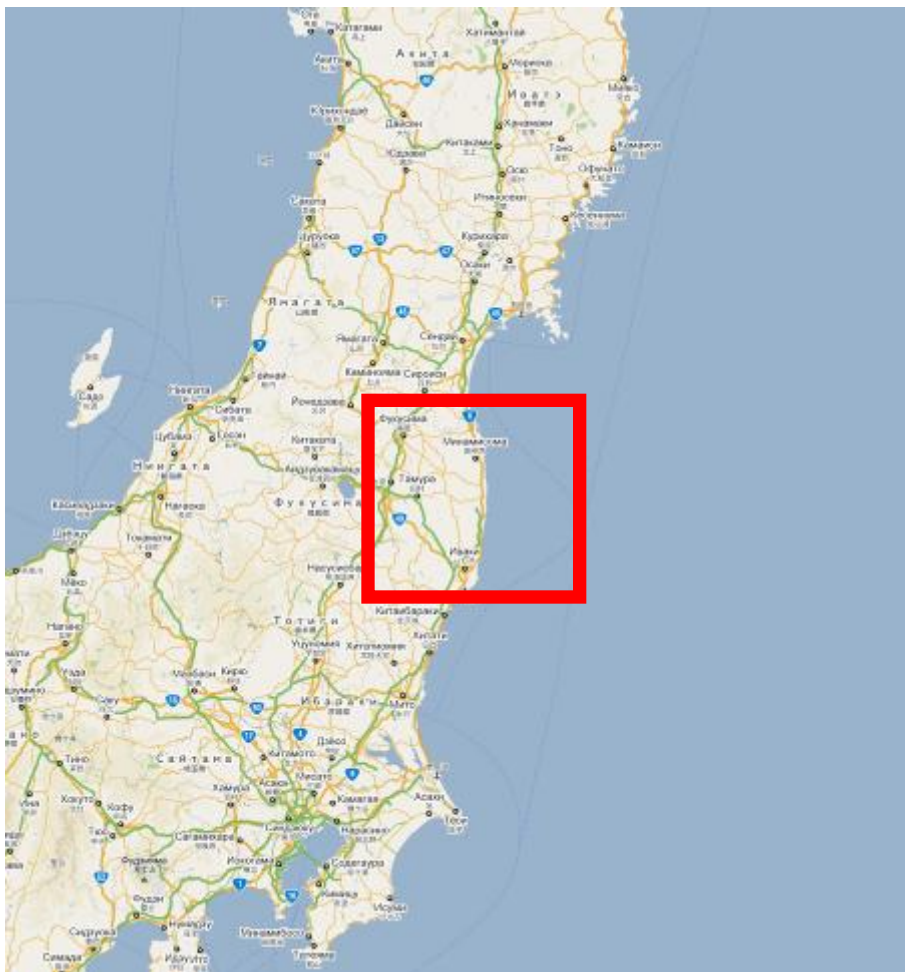
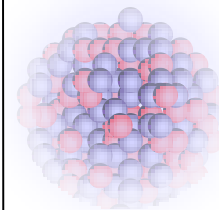




Эксперименты

Авария на АЭС Фукусима-1
Fukushima Daiichi Incident

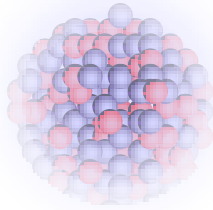
География аварии



☒ источник

• точки измерений

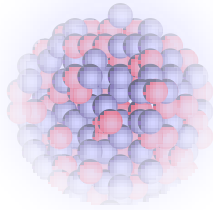
Хронология аварии



- Зарегистрированные события (15 марта 2011 г., по данным ТЕРСО)
 - 00:00 начало вентилирования на блоке №2
 - 05:45 возгорание в бассейне ОЯТ на блоке №4
 - 06:00 громкий звук внутри защитной оболочки на блоке №2
 - 09:40 потушен пожар на блоке №4

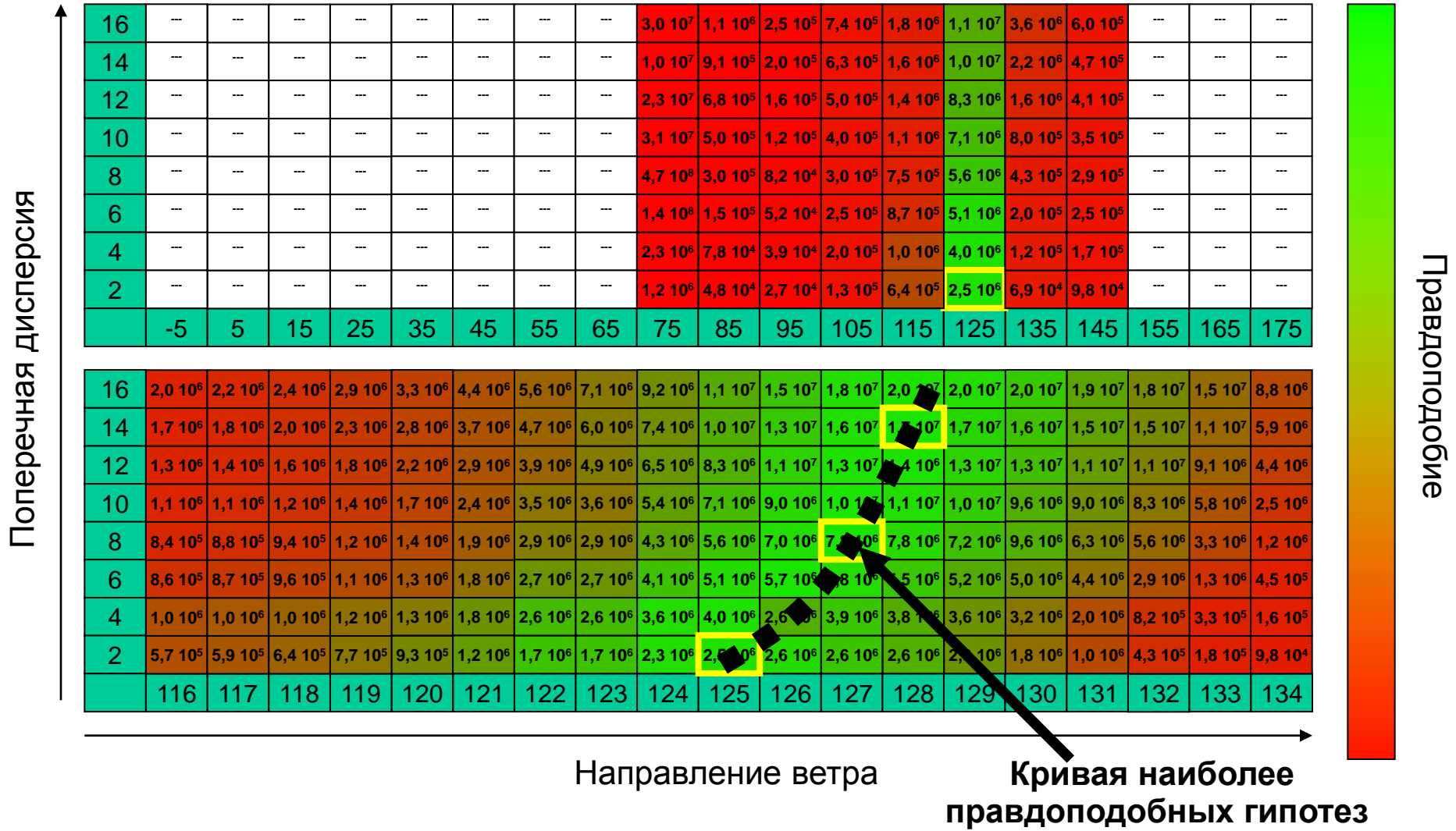
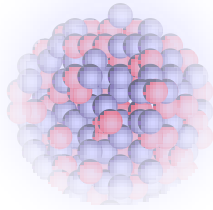


Данные

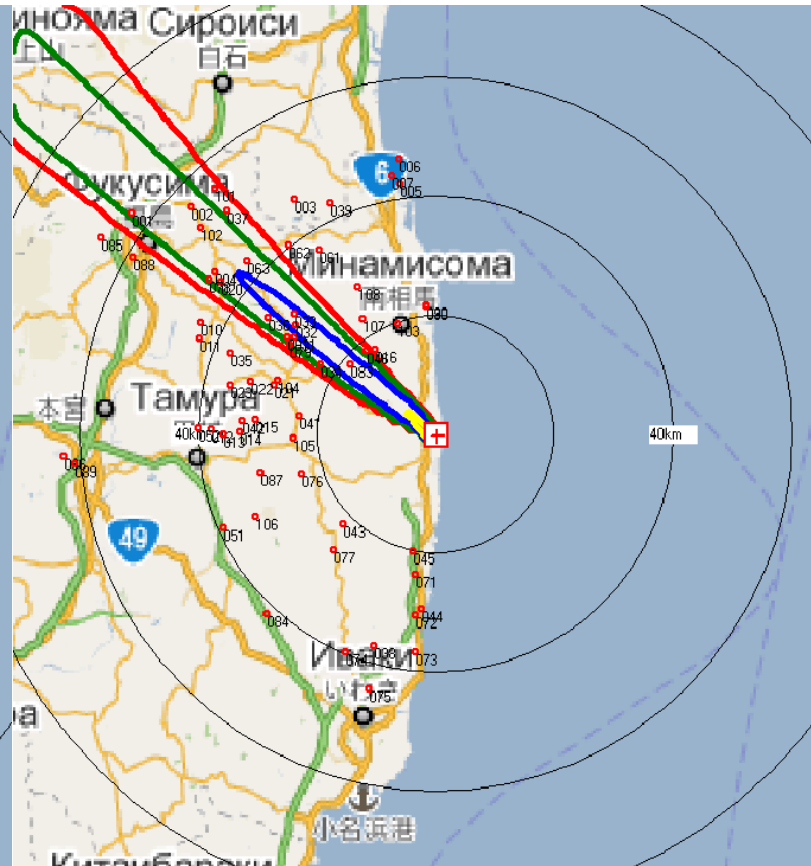
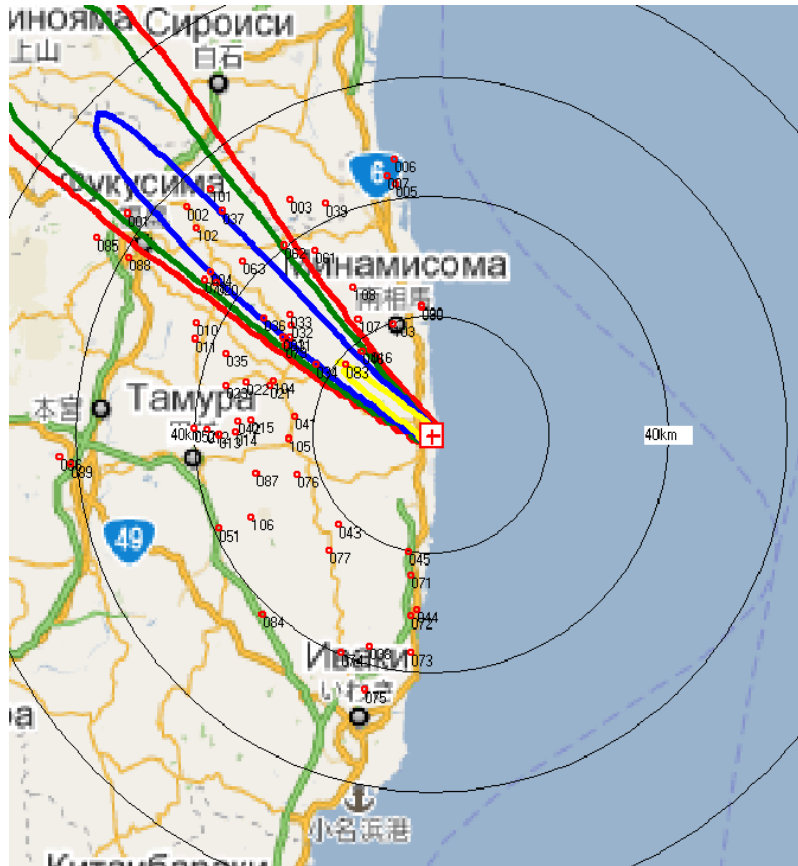
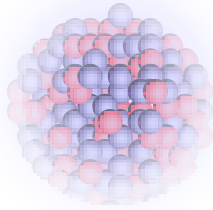


- Исходные данные
 - МЕХТ (мощности дозы на 100+ постах наблюдения)
 - ТЕРСО (хронология)
- Известные переменные
 - Погода постоянна
- Неизвестные переменные
 - Направление ветра
 - Скорость ветра
 - Высота выброса
 - Класс устойчивости погоды
 - Активность выброса

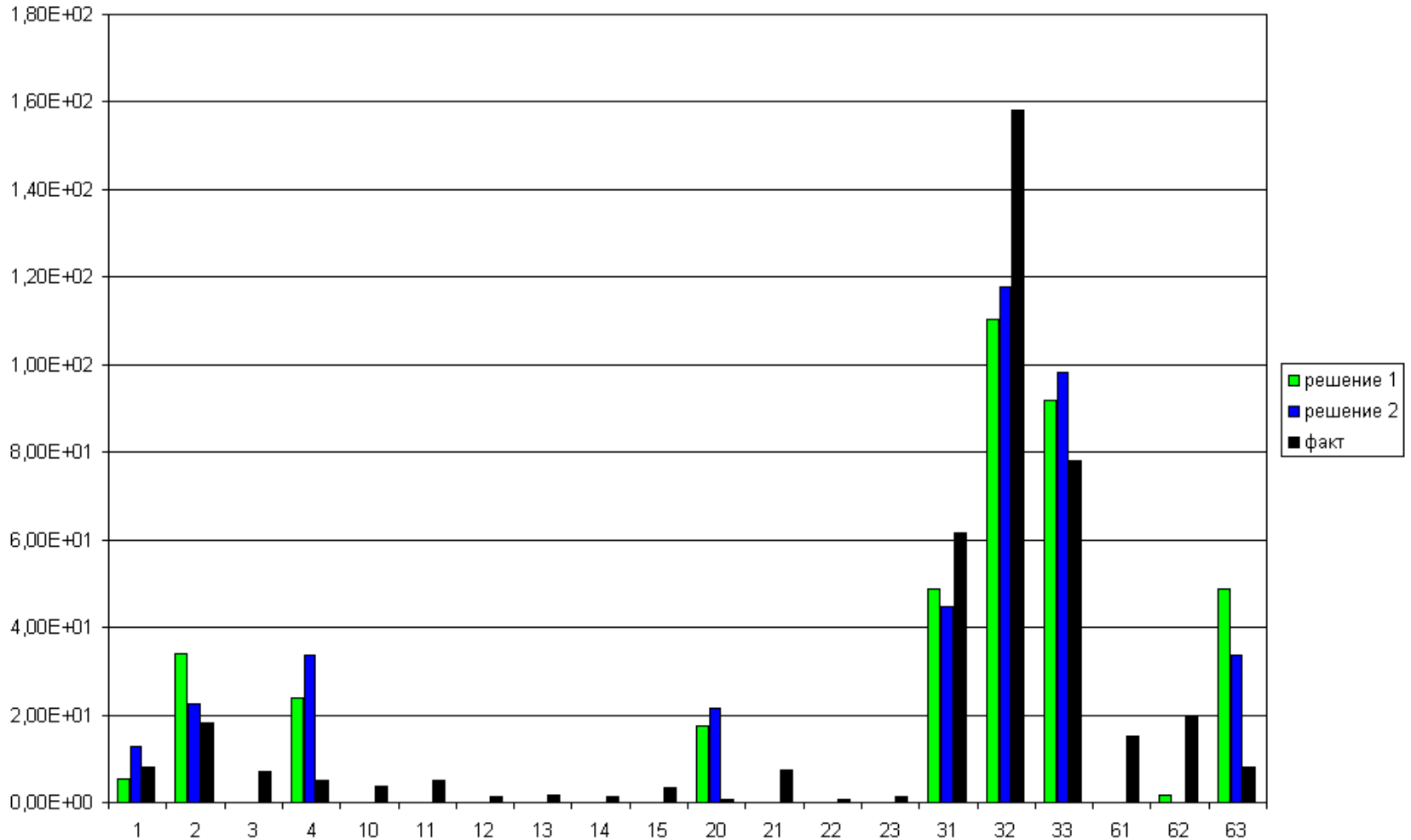
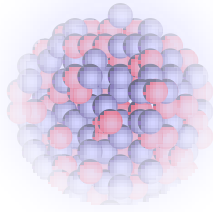
Правдоподобие гипотез в плоскости двух наиболее значимых факторов



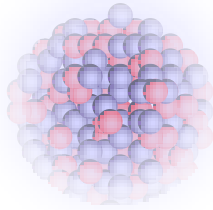
Два крайних правдоподобных решения



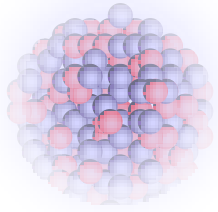
Сравнение гипотез с фактом



Результат (СЗ след)



- Оценка активности выброса
(реализуемо в близком к реальному времени):
 - $3.0 \cdot 10^6 - 1.2 \cdot 10^7$ Ки в пересчете на изотоп Cs-137
- Экспертная оценка инцидента
(спустя 6 месяцев):
 - $8.0 \cdot 10^6$ Ки в пересчете на изотоп Cs-137



Спасибо за внимание!

Олег Ушмаев
oushmaev@ipiran.ru



Оценка интегральной активности: геометрическая мотивация

