

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПУТНИКОВОЙ СЪЕМКИ И МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В МОДЕЛИРОВАНИИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ГАЗОВЫХ ЭМИССИЙ ОТ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

Дубровская О.А., Климова Е.Г., Сухинин А.И.
Институт вычислительных технологий СО РАН,
Новосибирск

Институт леса СО РАН им. В. Н. Сукачева,
Красноярск

*e-mail: olga@ict.nsc.ru, klimova@ict.nsc.ru,
boss@ksc.krasn.ru*

Цель исследований

1. Разработка методики восстановления значений концентрации газовых составляющих по данным космического зондирования о лесных пожарах и метеорологическим данным для оценки концентрации примеси в заданном регионе с помощью построения обратных траекторий и использованием процедуры усвоения данных.
2. Разработка методов оценки концентрации газовых составляющих в атмосфере, основанных на динамико-стохастическом подходе.
3. Исследование применимости разрабатываемой методики при описании природных явлений таких, как распространение составляющих дымовых шлейфов при массовых лесных пожарах.

Оценка эмиссий CO₂ по данным о сгоревшей биомассе

Выгоревшая территория
и тип растительности



Запас топлива и
характеристики



Расход топлива



Эмиссии

оценка общих эмиссий углерода

$$C_t = A \cdot B \cdot f_c \cdot \beta$$

эмиссии конкретных шлейфовый газов

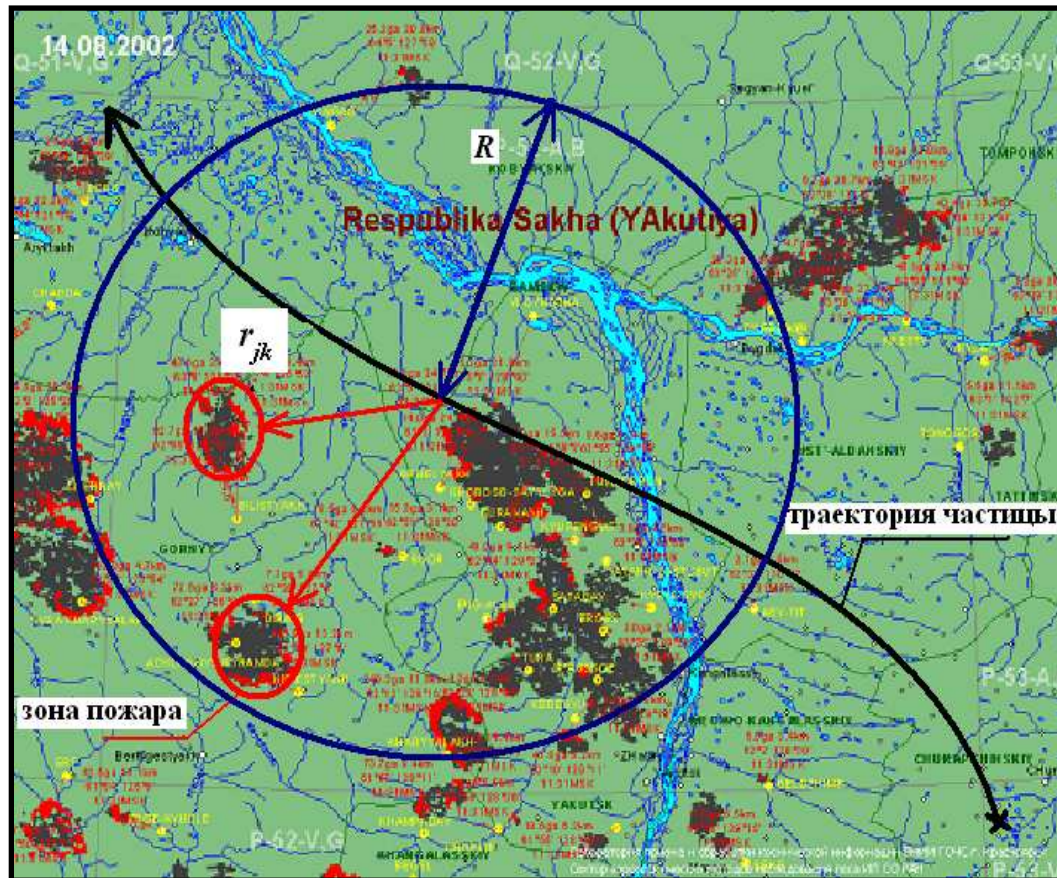
$$E_s = C_t \cdot ef_s$$

C_t – масштабирующий коэффициент для доли биомассы, которая сгорела (связан с типом и интенсивностью пожара, а так же видом лесного горючего материала)

A – площадь пожарищ (га),
 B – средний запас биомассы (т/га),
 f_c – доля углерода в биомассе

ef_s – коэффициент эмиссии для данного вида шлейфового газа s (обычно выражается как доля данного вещества по отношению к сухому топливу, сгоревшего во время пожара)

Восстановление значений концентраций CO_2 в заданном регионе по данным о сгоревшей биомассе на основе построения обратных траекторий



Уравнения траекторий

$$\frac{d\lambda}{dt} = \frac{1}{a \cos \varphi} u(t, \lambda, \varphi, p)$$

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{1}{a} v(t, \lambda, \varphi, p)$$

$$\frac{dp}{dt} = w(t, \lambda, \varphi, p)$$

$$w(t, \lambda, \varphi, p) = \frac{gp}{RT(\gamma_a - \gamma)} \left[\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{u}{a \cos \varphi} \frac{\partial T}{\partial \lambda} + \frac{v}{a} \frac{\partial T}{\partial \varphi} \right]$$

$$p^{n+1} = p^n + w(\lambda, \varphi, p, t)^n \Delta t$$

Вдоль траектории производится усвоение данных о концентрации

Восстановление значений концентрации по данным наблюдений

Шаг «прогноза» вдоль траектории для одного временного шага считается по формуле $q_f^n = q_f^{n+1}$

Шаг «анализа» производится в момент времени t^j в котором есть данные о пожарах с помощью метода экспоненциальной интерполяции и имеет следующий вид:

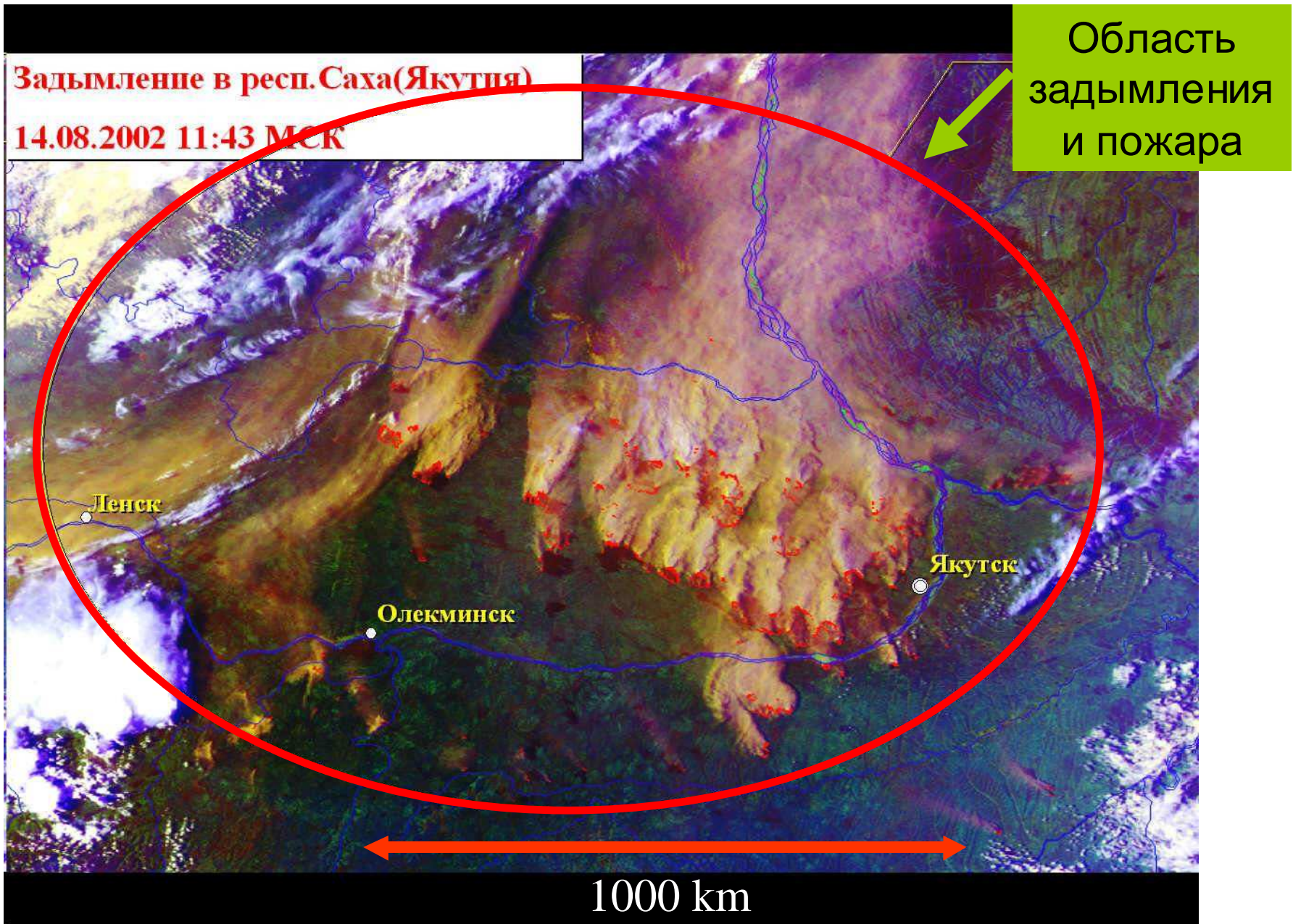
$$q_a^j = q_f^j + \frac{\sum_{k=1}^{K_1} \alpha_{jk} \Delta q_d^j}{\sum_{k=1}^{K_1} \alpha_{jk}}, \quad \alpha_{jk} = e^{-0.5 \frac{r_{jk}^2}{(B^m)^2}},$$

K_1 – количество точек наблюдений, B^m – радиус корреляции,

r_{jk} – расстояние между точкой траектории $(\lambda(t^j), \varphi(t^j), p(t^j))$ и k -ой точкой наблюдений, $\Delta q_d^j = \Delta t \cdot \eta_k$, где величина η_k определяется по данным о сгоревшей биомассе.

Для высот, больше 1,5 км, изменение Δq_d^j по вертикали вычисляется

по формуле:
$$\Delta q_d^j(p_1) = \Delta q_d^j(p_2) e^{\frac{(h_1 - h_2)^2}{2L^2}}$$

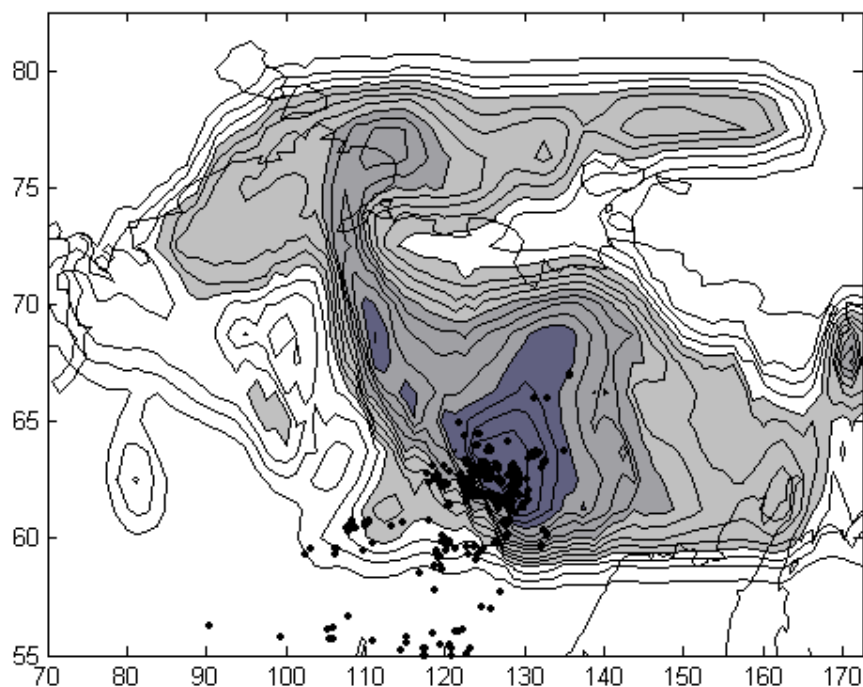


Область пожаров и задымления на территории Якутии по данным NOAA/AVHRR (14 августа 2002)

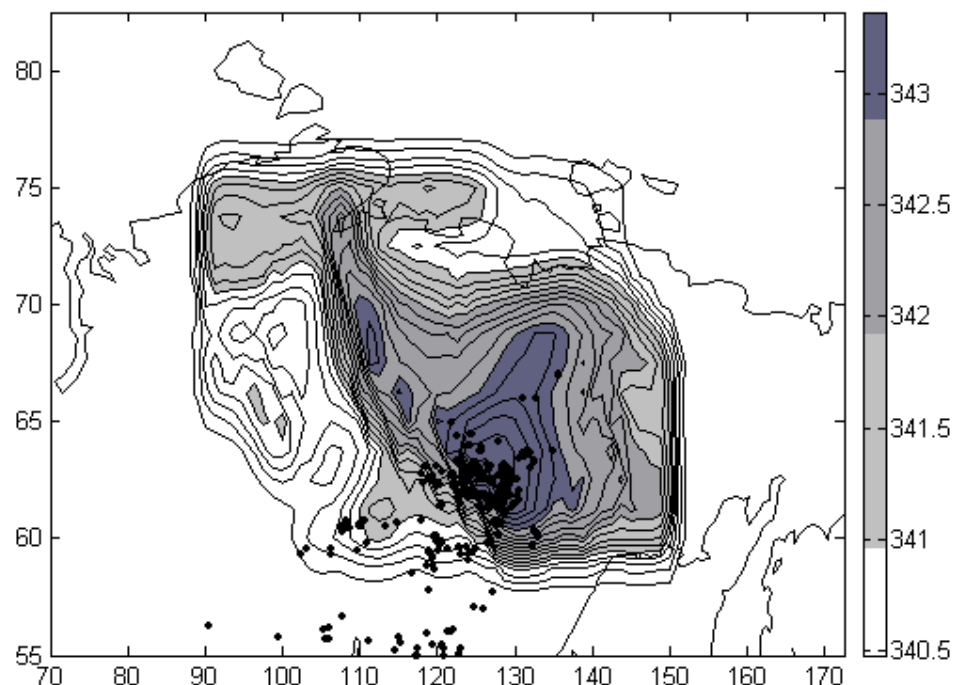
Численные эксперименты по восстановлению концентрации CO_2 для различных регионов в узлах сетки $1,25^0 \times 1,25^0$ на примере пожаров 2002 г. (Республика Саха).

Расчеты соответствуют интервалу времени с 10 по 20 августа 2002 г.

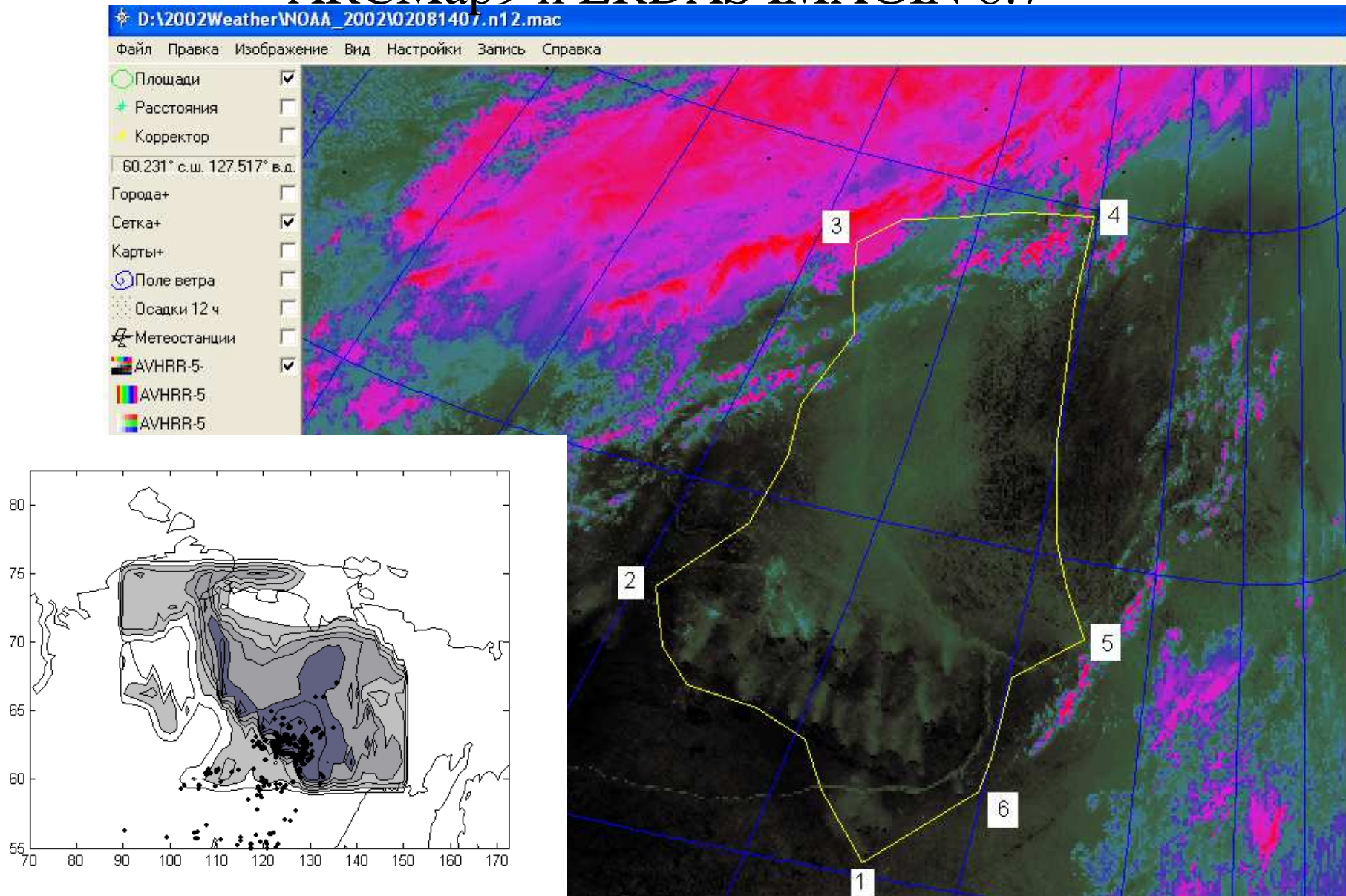
для региона
 $70^0 - 172,5^0$ в.д. и $63,5^0 - 80^0$ с.ш.



для региона
 $90^0 - 152,5^0$ в.д. и $63,5^0 - 73,5^0$ с.ш.

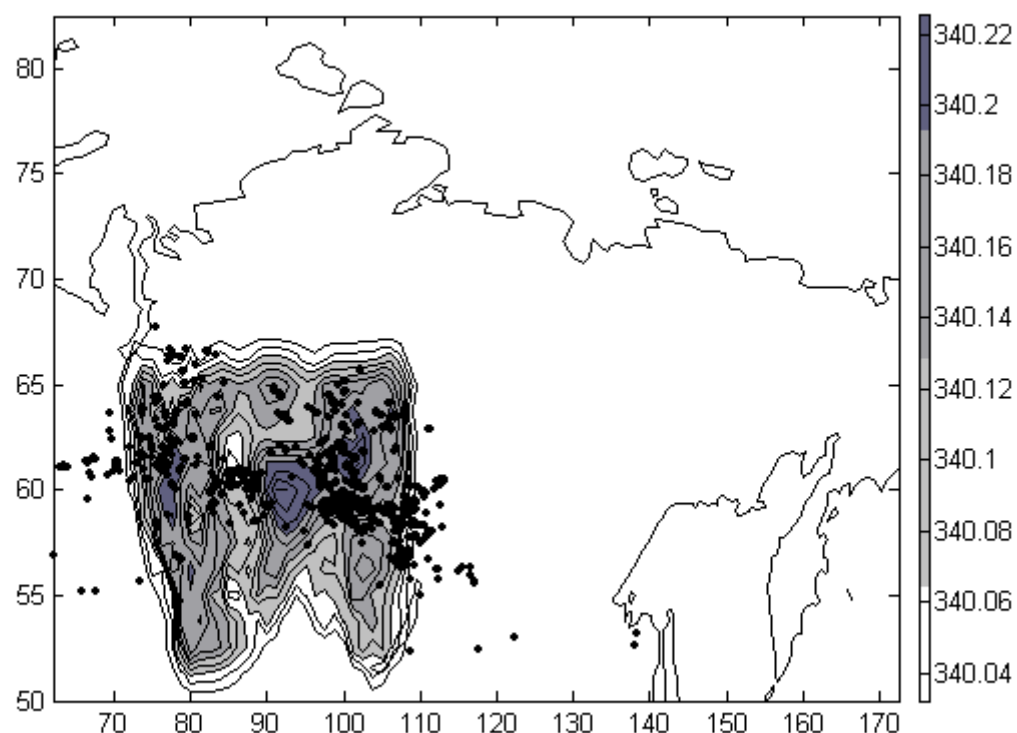
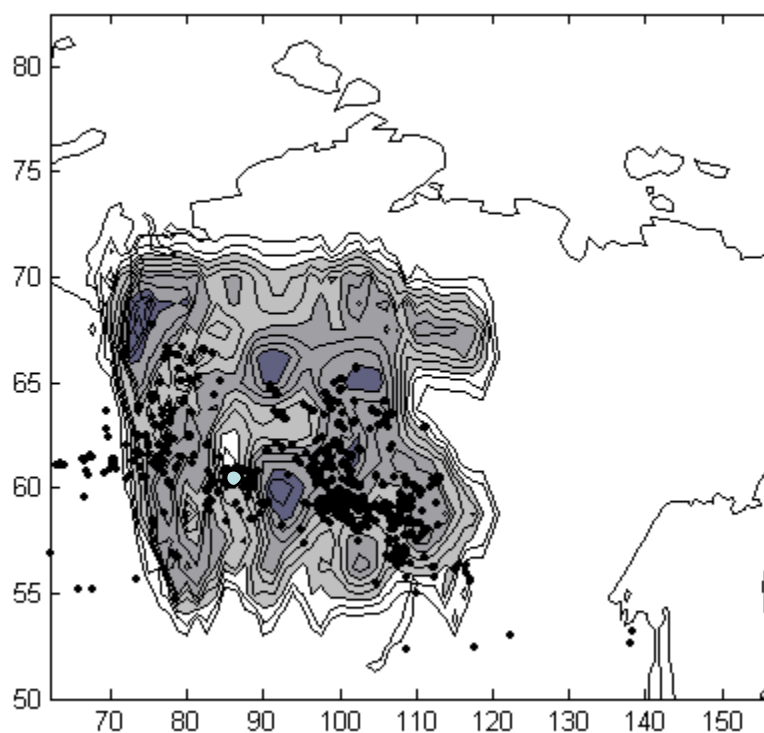


Форма и структура облачности и дымовых шлейфов анализировалась средствами геоинформационных систем ARCMar9 и ERDAS IMAGIN 8.7



Численные эксперименты по восстановлению концентрации

на примере пожаров 2006 г. (Приангарье). Восстановление концентрации проводилось для регионов $70^{\circ} - 172,5^{\circ}$ в.д. и $63,5^{\circ} - 80^{\circ}$ с.ш. и $90^{\circ} - 152,5^{\circ}$ в.д. и $63,5^{\circ} - 73,5^{\circ}$ с.ш. в узлах сетки $1,25^{\circ} \times 1,25^{\circ}$. Расчеты соответствуют интервалу времени с 19 по 22 июля 2006

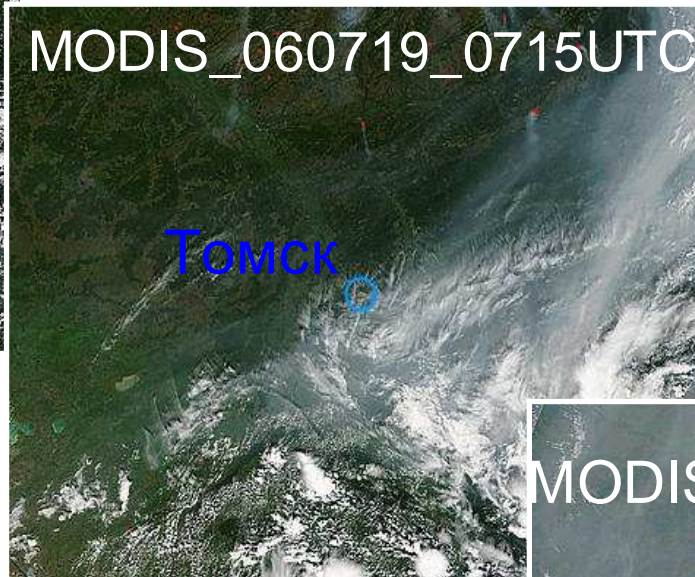
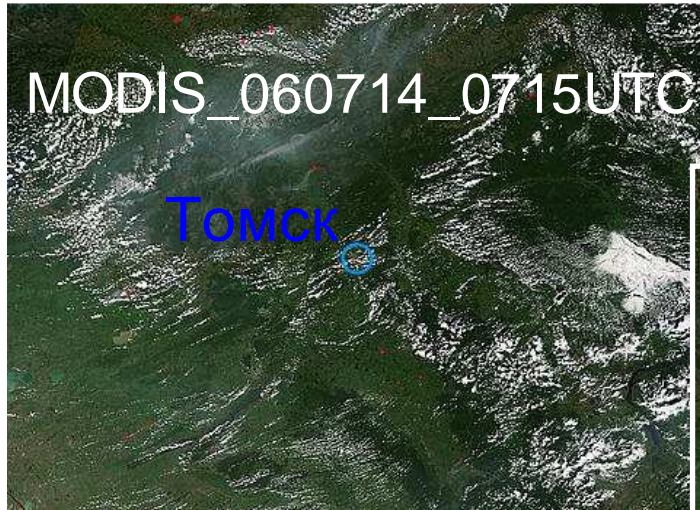


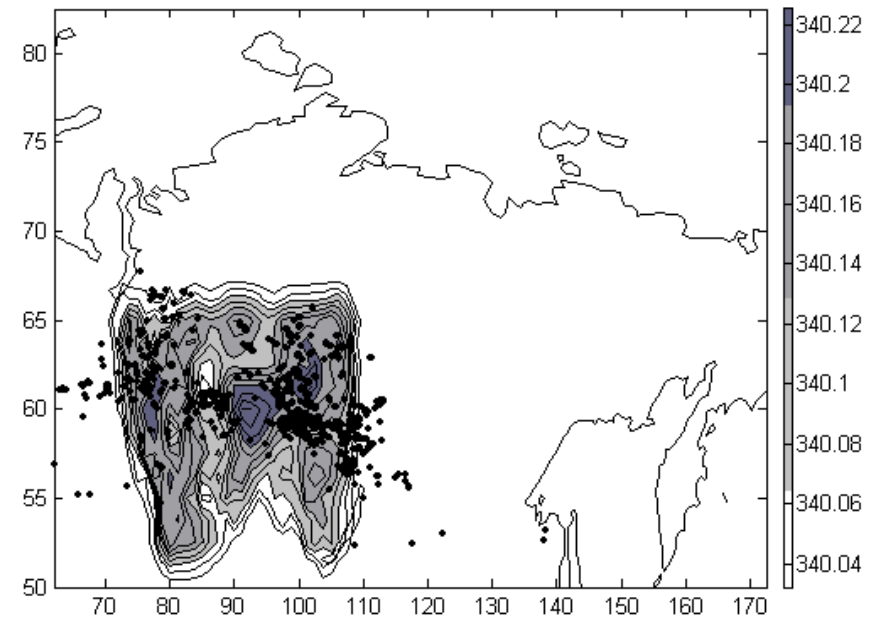
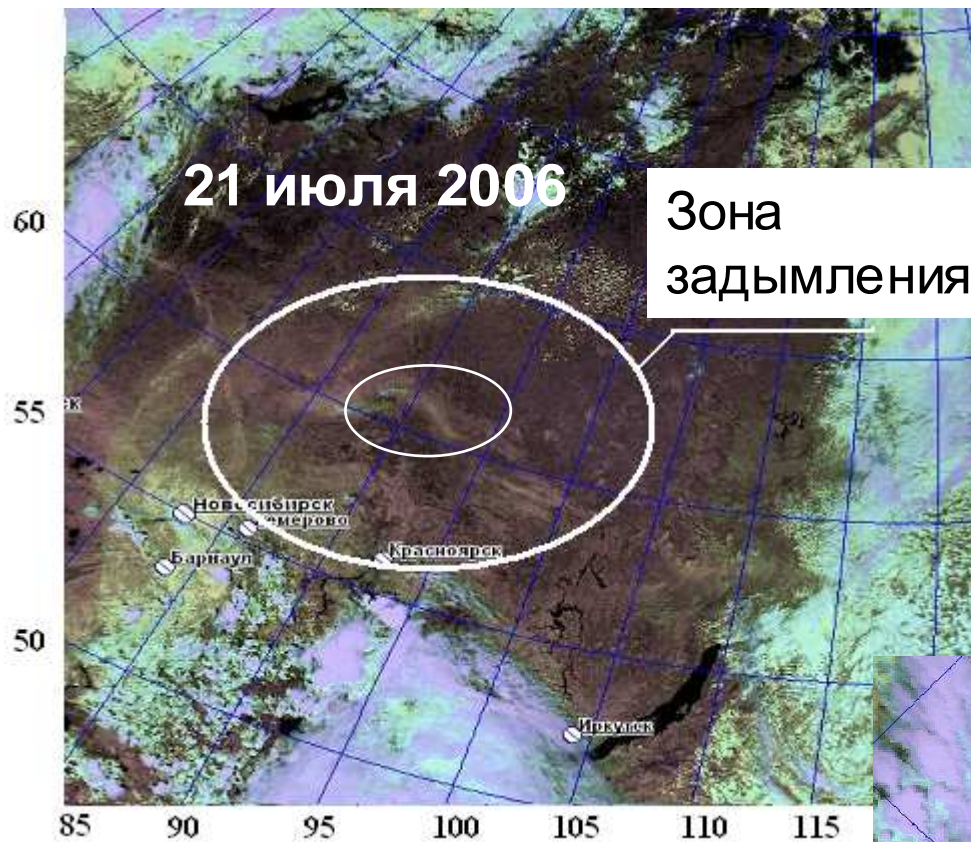
Координаты г. Томска
 56° с.ш. 85° в.д.

Динамика переноса дымовых шлейфов.

Спутниковые снимки

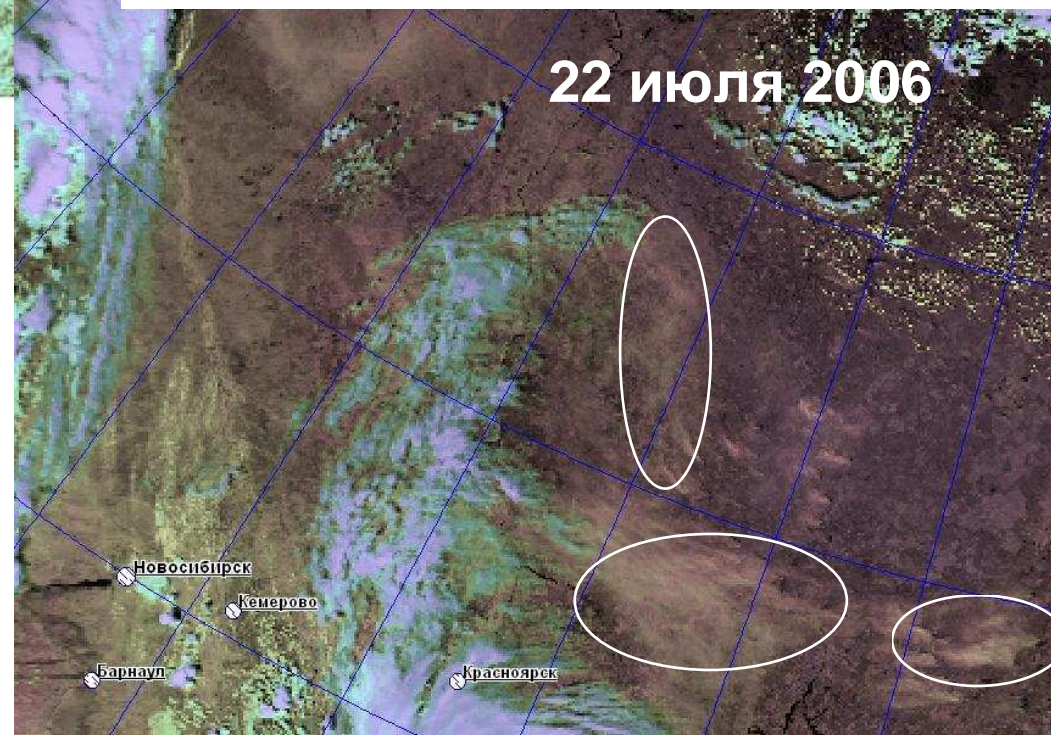
Terra/Modis (14.07 - 21.07.2006)





Точка, с максимальной
концентрацией CO_2

$61,5^\circ$ с.ш. и $92,3^\circ$ в.д.



Моделирование ансамбля обратных траекторий

Так как ветер задан с погрешностью, то имеет смысл моделировать обратные траектории с учетом этих погрешностей.

С этой целью задавался ансамбль полей:

$$\{U^{(i)}(\lambda, \theta, t), V^{(i)}(\lambda, \theta, t)\}, \quad i = 1, \dots, M$$

И производилась оценка концентраций $Q^{(i)}(\lambda, \theta, t_N)$ в заданном регионе

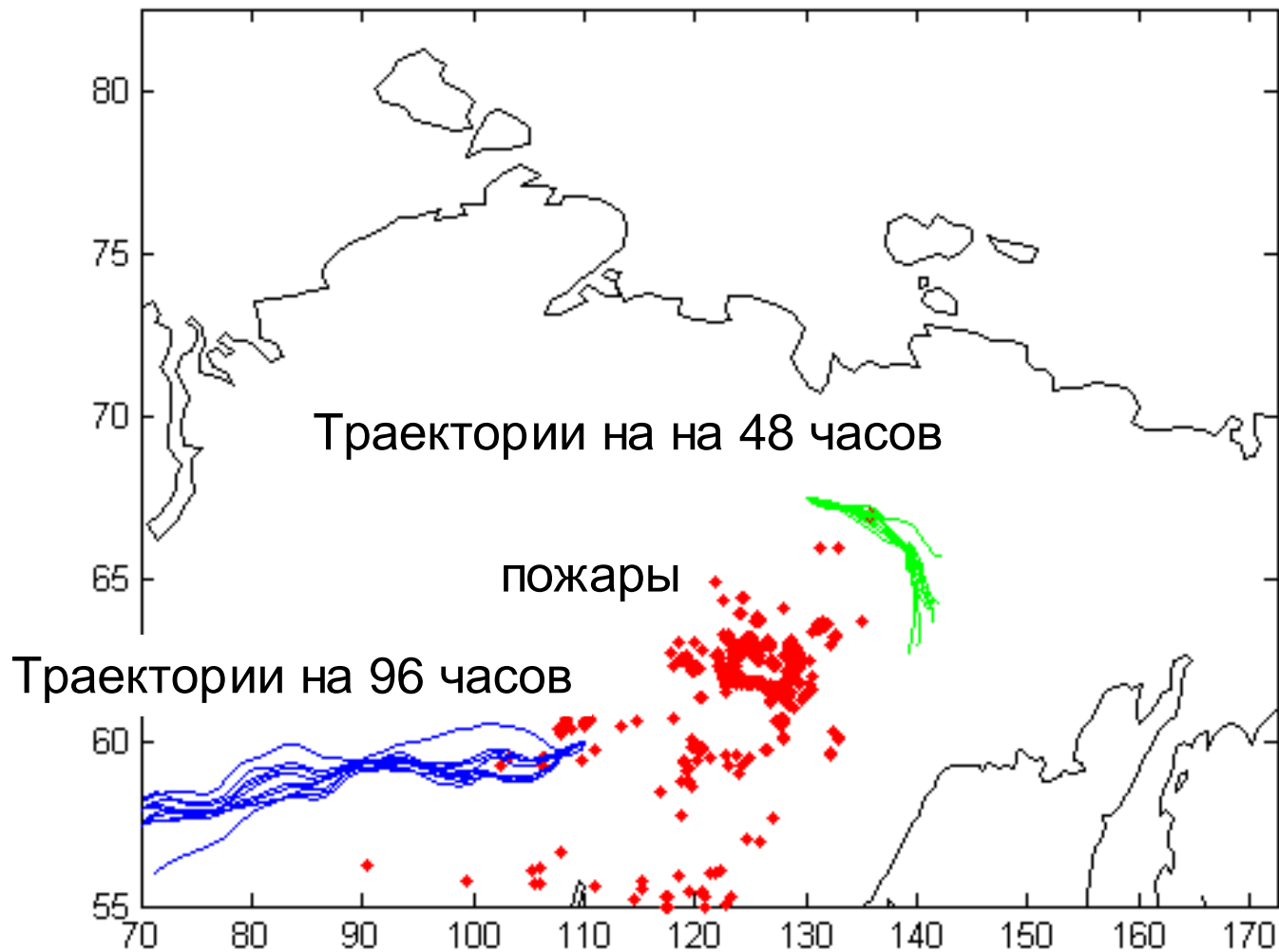
Ансамбль полей ветра моделировался с помощью добавления случайных возмущений ξ_U, ξ_V :

$$U^{(i)}(\lambda, \theta, t) = U(\lambda, \theta, t) + \xi_U^{(i)},$$

$$V^{(i)}(\lambda, \theta, t) = V(\lambda, \theta, t) + \xi_V^{(i)}$$

где $\xi_U \sim N(0, \sigma_U^2), \quad \xi_V \sim N(0, \sigma_V^2),$

**Ансамбль траекторий восстановленный по
метеоданным на 14 августа 2002 года для точек,
имеющих координаты
59⁰с.ш., 111⁰в.д. и 67⁰с.ш., 129⁰в.д.**



Восстановление значения концентраций по ансамблю обратных траекторий

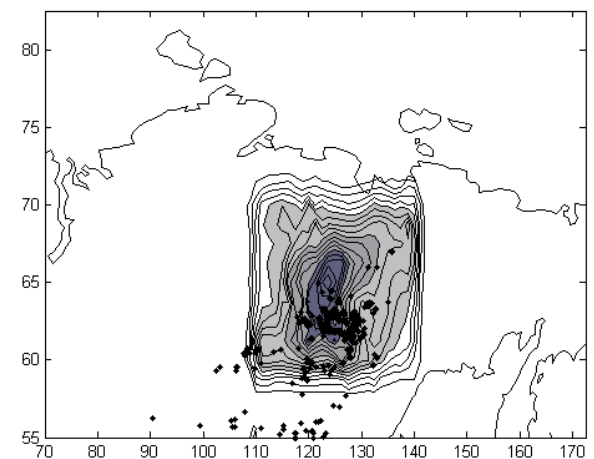
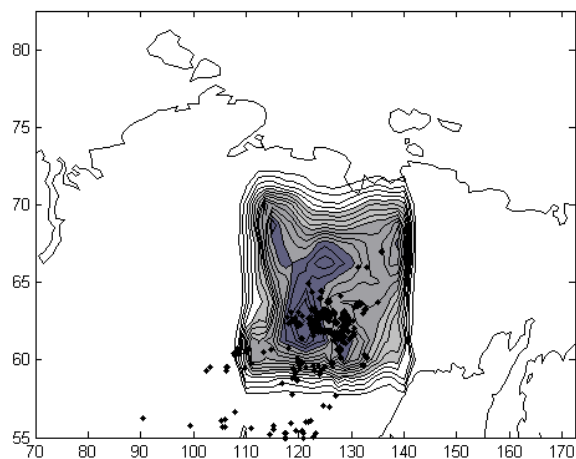
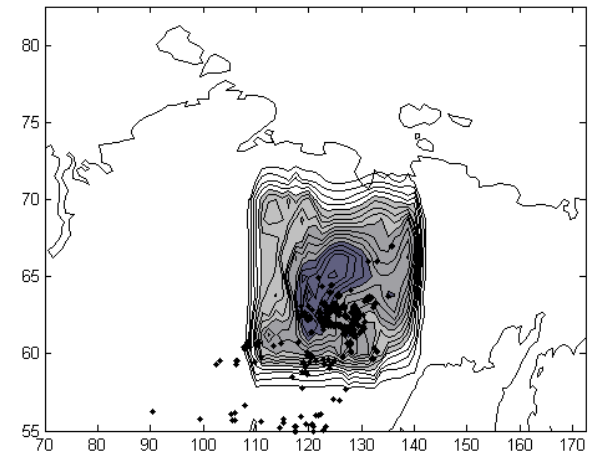
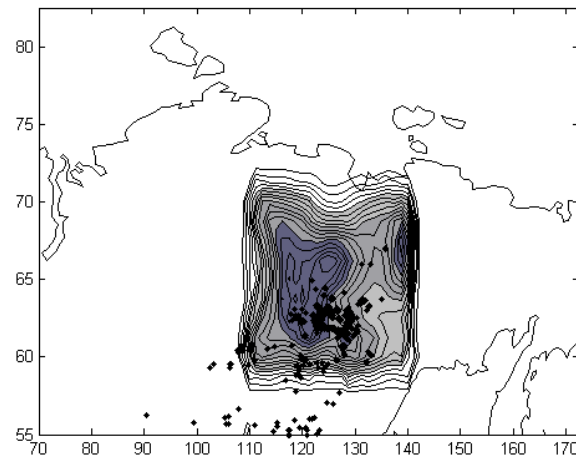
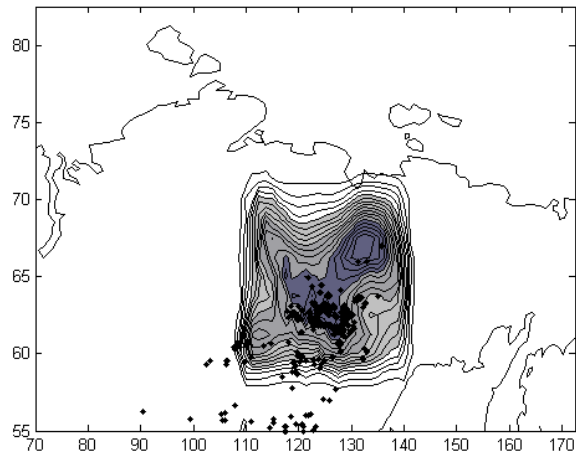
По выборке $\{Q^{(i)}(\lambda, \theta, t_N)\}$ вычислялось среднее значение концентрации CO_2 и дисперсия.

$$\bar{Q}(\lambda, \theta, t_N) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M Q^{(i)}(\lambda, \theta, t_N)$$

$$\sigma^2(\lambda, \theta, t_N) = \frac{1}{M-1} \sum_{i=1}^M (Q^{(i)}(\lambda, \theta, t_N) - \bar{Q}^{(i)}(\lambda, \theta, t_N))^2$$

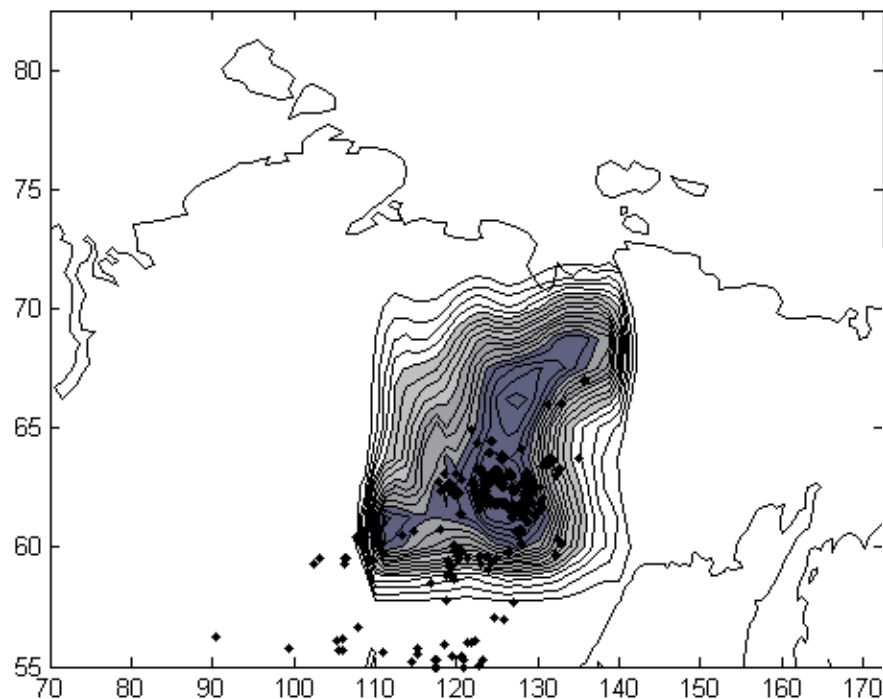
σ_U^2, σ_V^2 — соответствующие значения среднеквадратичной ошибки прогноза полей ветра

Ансамбль восстановленных концентраций в заданном регионе (57° - 70° N, 110° - 140° E)

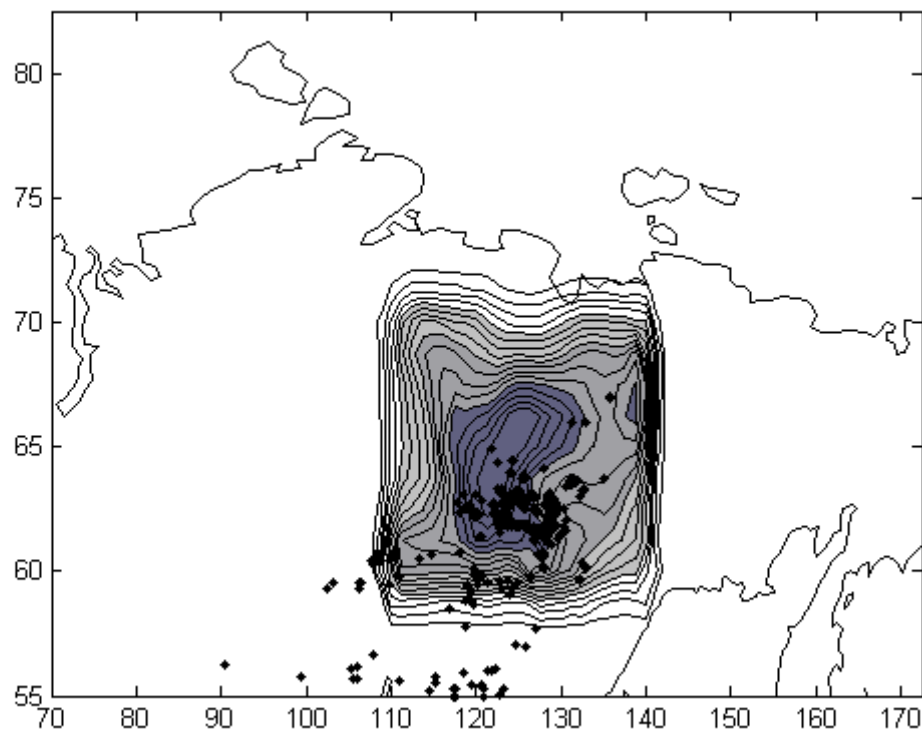


Среднее значение, рассчитанное по ансамблю из 10 восстановленных полей концентрации

Обратные траектории
вычислялись на 48 часов

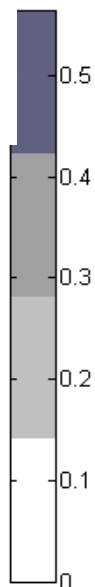
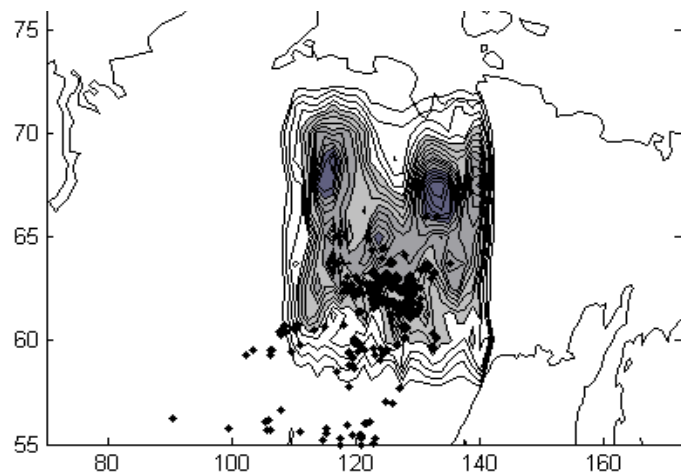


Обратные траектории
вычислялись на 120 часов

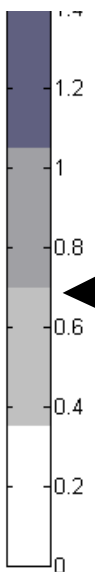
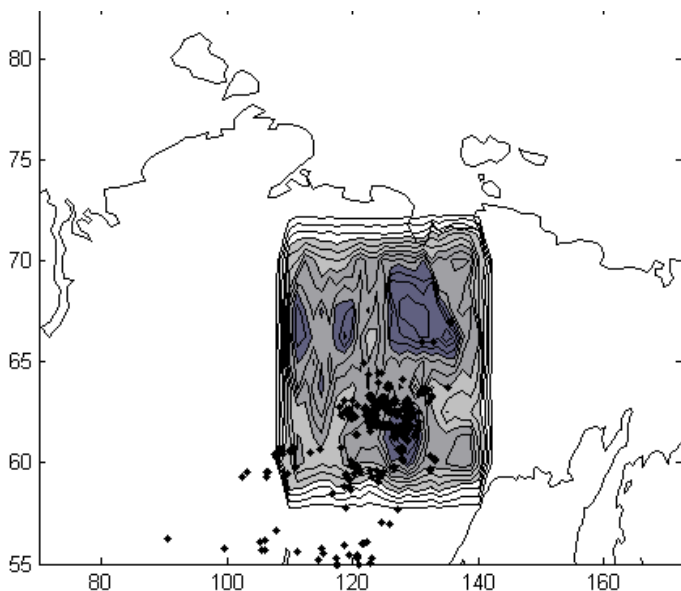
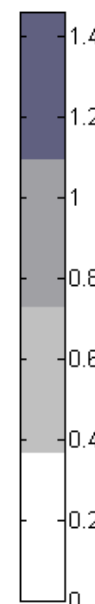
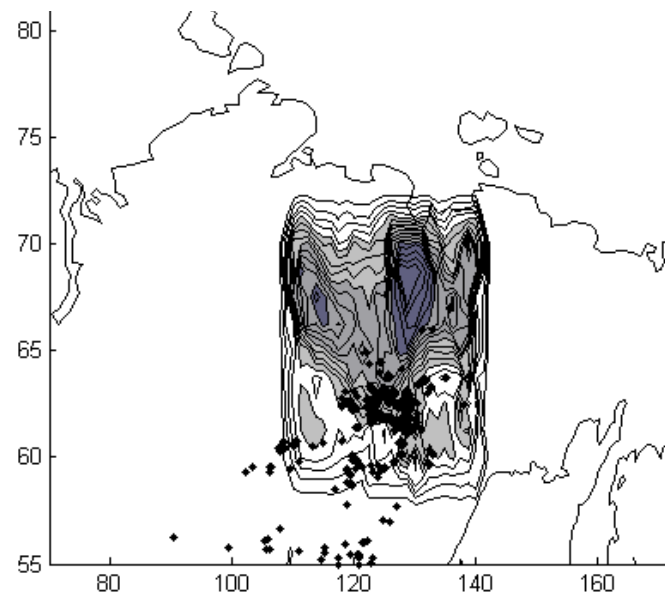


Дисперсия, рассчитанная по ансамблю из 10 восстановленных полей концентрации

8С Обратные траектории
вычислялись на 48 часов

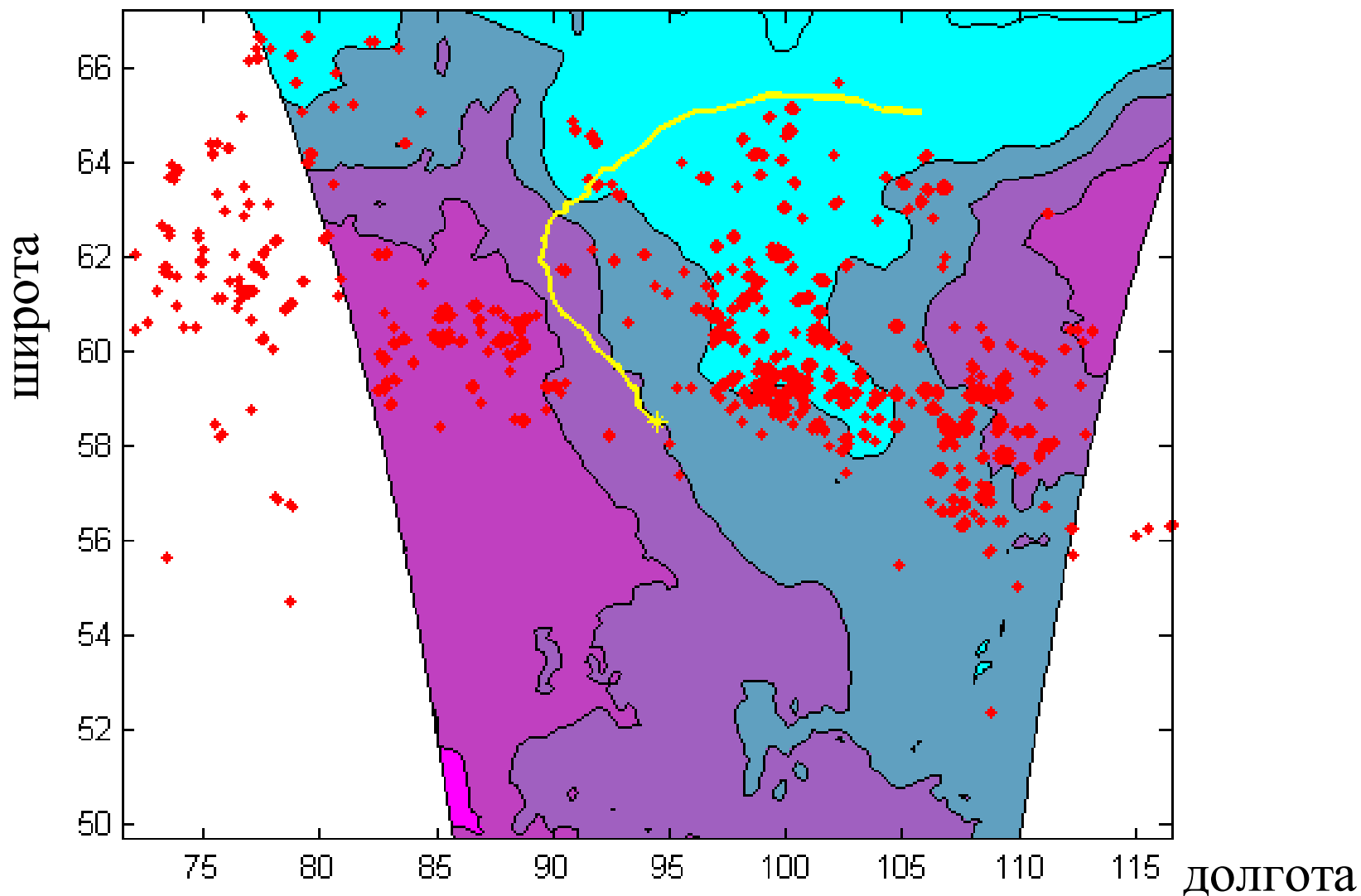


Обратные траектории
вычислялись на 120 часов



← Дисперсия, рассчитанная по
ансамблю из 50
восстановленных полей
концентрации
(Обратные траектории
вычислялись на 120 часов)

**Прогнозы полей ветра рассчитанных по модели WRF для
численных экспериментов по восстановлению
мелкомасштабной структуры концентрации CO₂**



Основные результаты и перспективы

- ❖ Применен ансамблевый подход для расчета распространения эмиссии от массовых лесных пожаров для заданного региона с использованием метеорологической информации и данных о пожарах. Результаты численных экспериментов хорошо согласуются с фактическим распространением дымовых шлейфов, полученным по данным спутников серии NOAA
- Использование прогнозов метеополей по модели WRF.
- Разработка методики усвоения данных о пожарах на основе ансамблевого фильтра Калмана.
- Провести количественную оценку переносимых газовых составляющих от пожаров при сопоставлении расчетов и натурных данных.

В качестве источника данных дистанционного зондирования использованы материалы спутниковых съемок низкого и среднего пространственного разрешения NOAA/AVRR/TOVS и Terra/MODIS территории Восточной Сибири, республик Саха (Якутия) и Тыва.

DATE	TIME_SEC	TIME	SATELLITE	LAT	LON	SQR_M	SQR_HA
14.08.02	27061	07:31:01	NOAA-12	62,7050	119,3297	59080847	140,20
14.08.02	27061	07:31:01	NOAA-12	60,6449	110,1179	1229455	2,70
14.08.02	27061	07:31:01	NOAA-12	63,1931	122,8318	11093547	22,50
14.08.02	27061	07:31:01	NOAA-12	62,8475	120,6362	6331804	13,10
14.08.02	27061	07:31:01	NOAA-12	60,5832	109,9945	3718773	8,70
14.08.02	27061	07:31:01	NOAA-12	60,7399	110,6075	3636778	7,10
14.08.02	27061	07:31:01	NOAA-12	60,6444	110,3964	2441736	5,40
14.08.02	27061	07:31:01	NOAA-12	60,5224	110,0442	4935024	11,50
14.08.02	27061	07:31:01	NOAA-12	62,3281	118,1065	3671405	7,10
14.08.02	27061	07:31:01	NOAA-12	63,1151	123,3774	17713857	40,80
14.08.02	27061	07:31:01	NOAA-12	63,1097	123,5772	18966518	39,10
14.08.02	27061	07:31:01	NOAA-12	63,2473	124,7301	12305760	29,50
14.08.02	27061	07:31:01	NOAA-12	63,2318	125,0389	52805026	122,10