

Климова Екатерина Георгиевна

**Институт вычислительных технологий СО РАН,
СибНИГМИ Росгидромета**

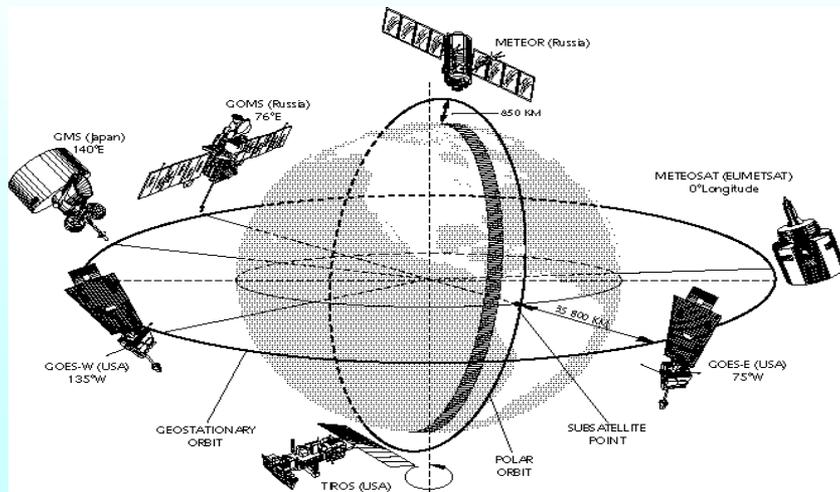
***Современные подходы к проблеме усвоения
данных наблюдений в задачах гидрометеорологических
прогнозов и моделирования окружающей среды***

klimova@ict.nsc.ru

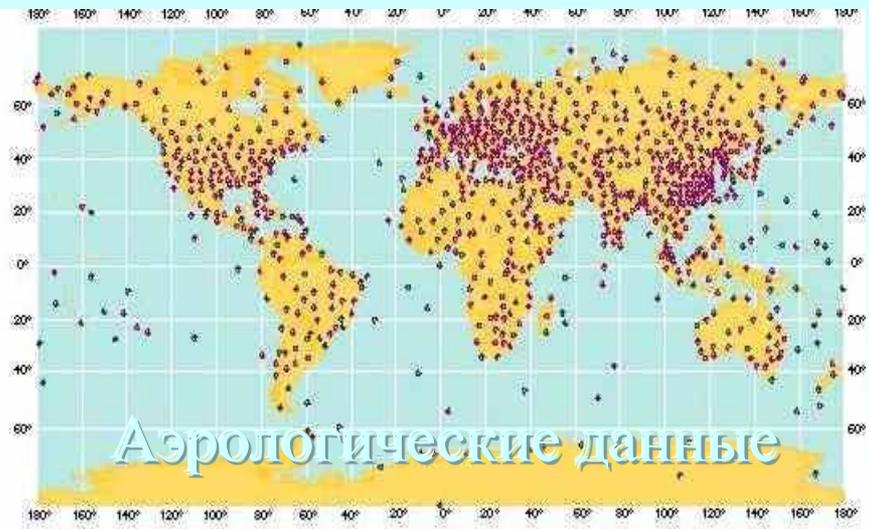
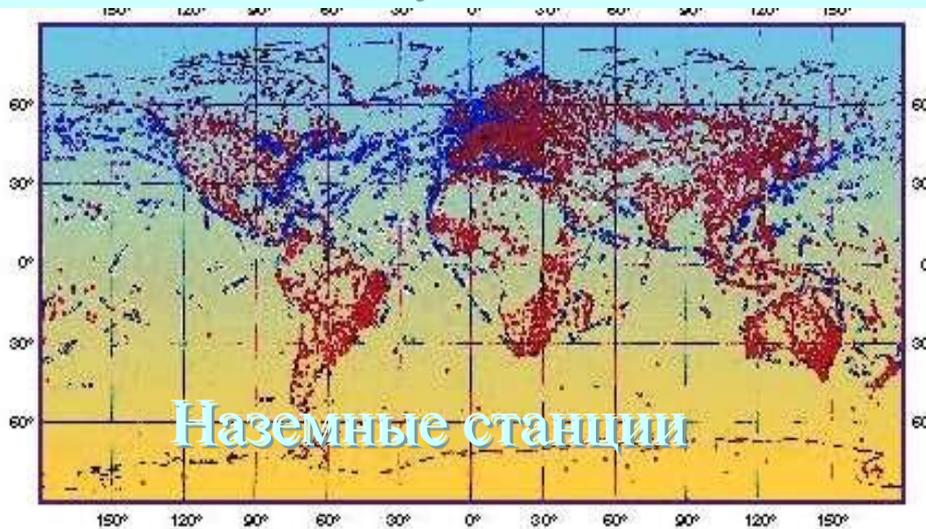
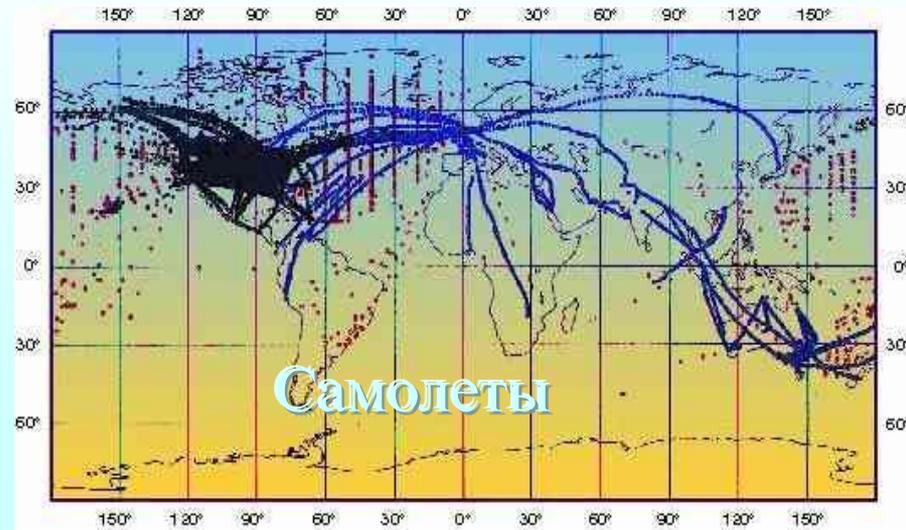


Рис. 1. Диаграмма системы наблюдений (а), сбора и обработки (б) данных наблюдений за состоянием гидросферы Земли (из сб. "Технология сбора и передачи метеорологических данных". М.: ВМО, 1995)

Наблюдательные системы



Спутники



Наблюдательные системы

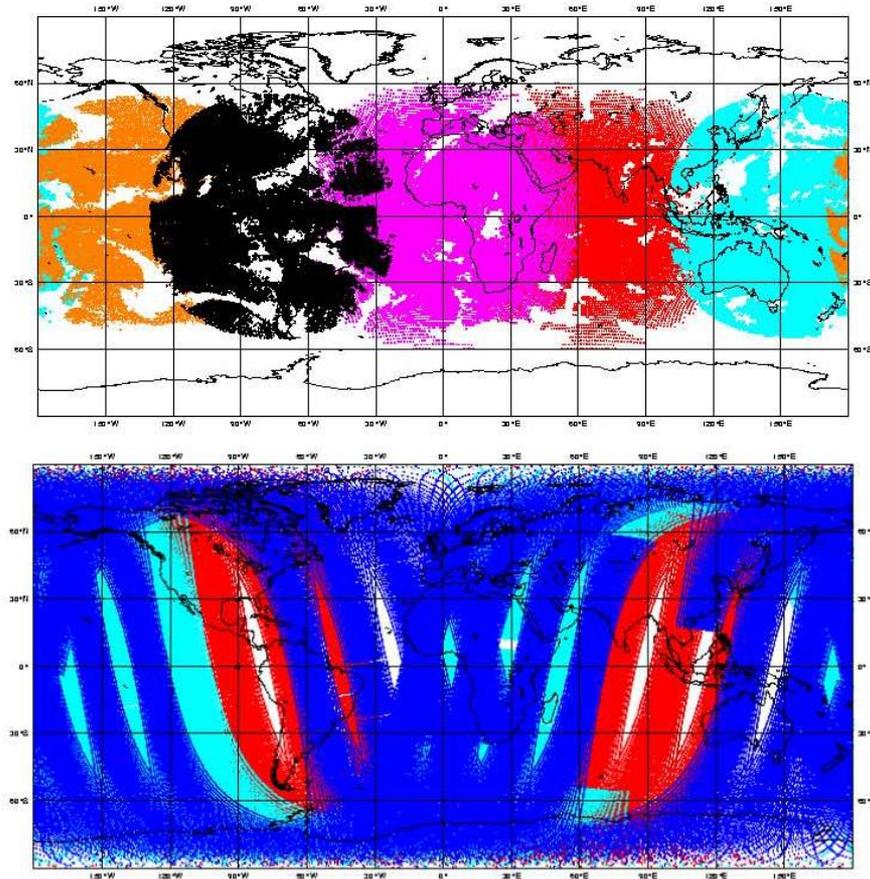


Figure 1: Typical data coverage provided by the Geostationary constellation (top): GOES-W/E (orange/black), Meteosat-7/5 (pink/red) and GMS-5/GOES-9 (cyan). Bottom plot displays the LEO constellation from the NOAA satellites (NOAA-15 in red, NOAA-16 in cyan, NOAA-17 in blue).

Введение

- Под усвоением данных принято понимать задачу восстановления пространственно-временного распределения полей по данным наблюдений и математической модели, описывающей динамику полей по времени.
- Такие задачи в настоящее время рассматриваются для описания процессов в атмосфере, океане, а также распространения загрязняющих веществ в окружающей среде.
- Цель усвоения данных – как подготовка начальных полей для последующего прогноза, так и более общая – описание поведения по времени исследуемых полей, изучение климата и т.д.

Введение.

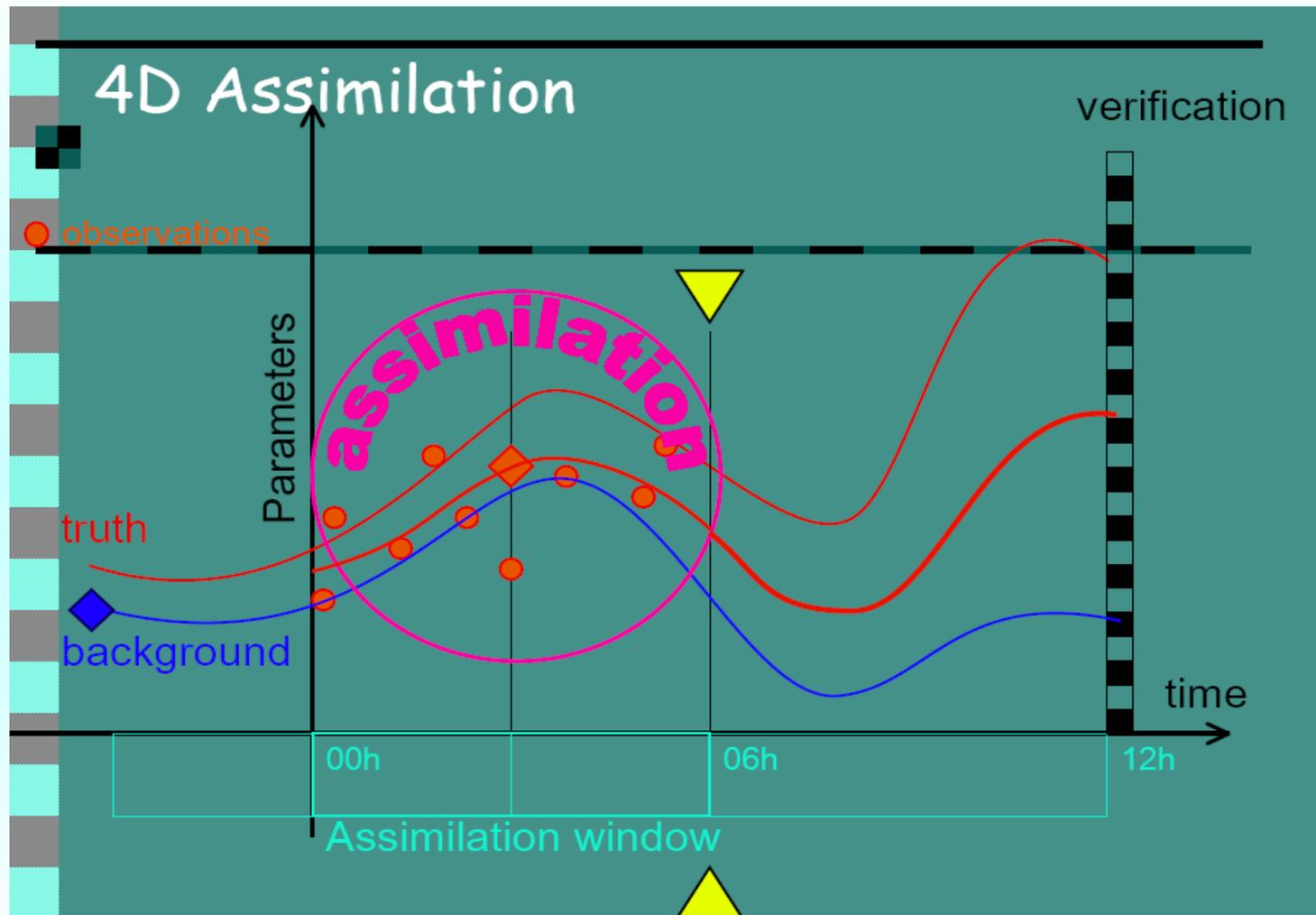
Известная информация:

- данные измерений;
- математические модели;
- «априорная информация».

Основные проблемы:

- необходимость работы с данными разных типов;
- многие переменные напрямую не измеряются;
- задача оценивания имеет огромную размерность (порядок оцениваемых векторов 10^7);
- математические модели атмосферных процессов нелинейны;
- наличие систематических ошибок модели и данных наблюдений.

Задача усвоения данных наблюдений



Florence Rabier, Météo-France, CNRM. Overview of data assimilation developments. (доклад на IV Международном симпозиуме по усвоению данных, Прага, апрель 2005 г.)

Задача усвоения данных наблюдений

Вариационное
усвоение

ECMWF (1997)

Meteo France (2000)

Met-Office (2004)

Japan (2005)

Canada (2005)

4DVAR → ***RRKF (reduced
rank Kalman
filter)***

Фильтр Калмана

Canada, Atmospheric Environment

Service (H.Mitchel, P.L.Houtekmer):

Ensemble Kalman Filter

US Berkeley, University of
Maryland (B.Hunt et al; E.Kalnay
et al):

***Local Ensemble Transform
Kalman Filter (LETKF)***

Математические постановки задачи 3DVAR

y_0 - данные наблюдений

P_b - ковариации ошибок прогноза

x_b - прогноз

R - ковариации ошибок наблюдений

$$2J(x) = (x - x_b)^T P_b^{-1} (x - x_b) + (y_0 - H(x))^T R^{-1} (y_0 - H(x))$$

↓

$$\nabla_x J(x_a) = 0$$

↓

$$(P_b^{-1} + H^T R^{-1} H)(x_a - x_b) = H^T R^{-1} (y_0 - H(x_b))$$

↕

$$x_a = x_b + (P_b^{-1} + H^T R^{-1} H)^{-1} H^T R^{-1} (y_0 - H(x_b))$$

Математические постановки задачи

Вариационное усвоение данных.

$$x_0 \rightarrow x_i = M(t_i, t_0)(x_0)$$

$$M(t_i, t_0)(x_0 + \delta x_0) = M(t_i, t_0)(x_0) + M'(t_i, t_0)\delta x_0$$

Данные на $[t_0, t_i]$: $y = (y_0, y_1, \dots, y_n)$;

$$H_i : y_i = H_i(x_i), H_i(x_i + \delta x_i) = H_i(x_i) + H'_i(x_i)\delta x_i.$$

Математические постановки задачи Вариационное усвоение данных

$$\min J(x_0) = \frac{1}{2} \sum_{i=0}^{i=n} (y_i - H_i(M_i(x_0)))^T R_i^{-1} (y_i - H_i(M_i(x_0))) + \\ + \frac{1}{2} (x_b - x_0)^T P_b^{-1} (x_b - x_0)$$



$$x_a = x_b - J_{x_b}^{-1} \times J_{x_b}'$$

Математические постановки задачи

Алгоритм фильтра Калмана

$$x_k^f = A_{k-1} x_{k-1}^a;$$

$$P_k^f = A_{k-1} P_{k-1}^a A_{k-1}^T + Q_{k-1};$$

$$K_k = P_k^f M_k^T (M_k P_k^f M_k^T + R_k)^{-1};$$

$$P_k^a = (I - K_k M_k) P_k^f;$$

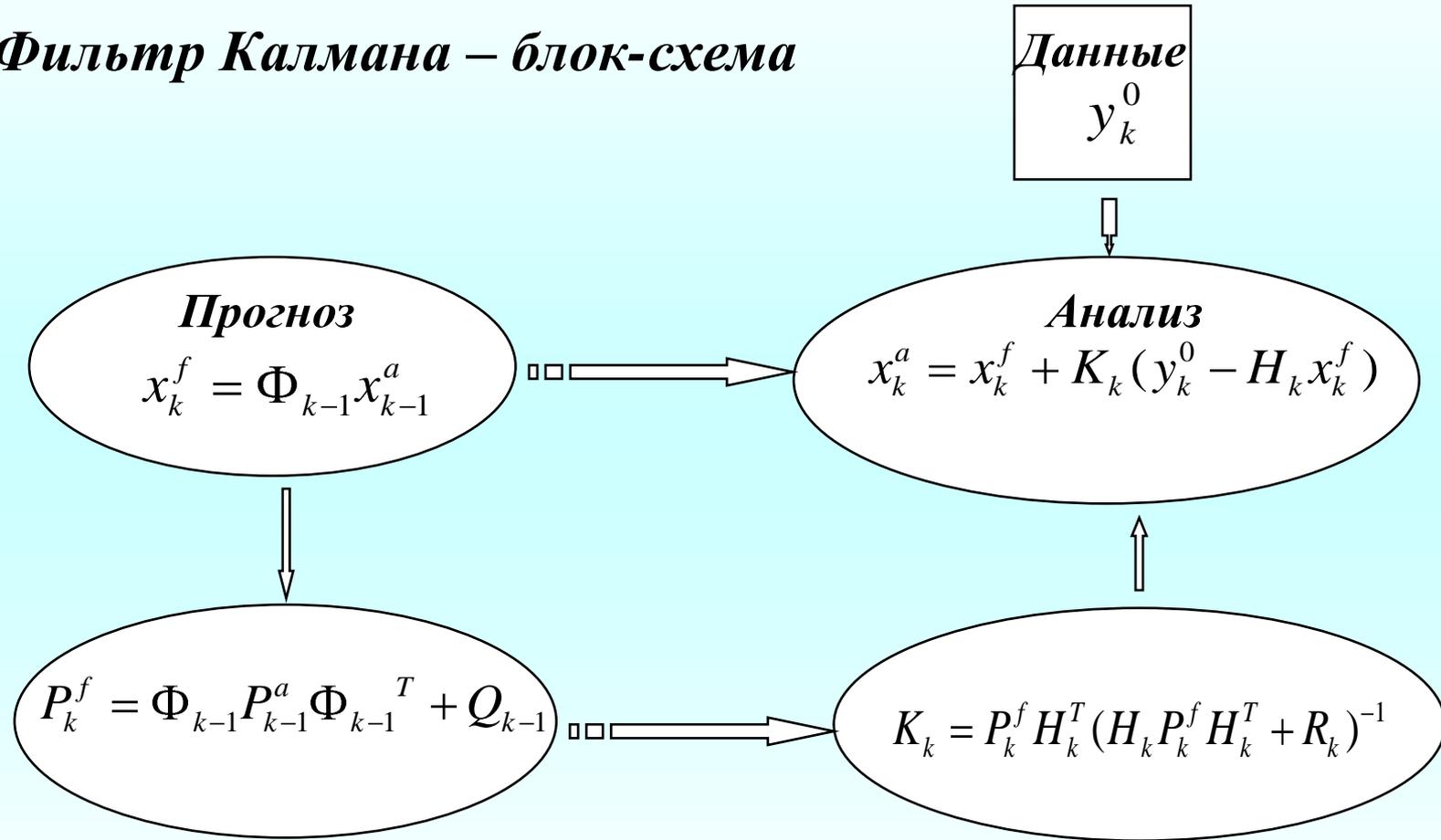
$$x_k^a = x_k^f + K_k (y_k^0 - M_k x_k^f);$$

$$k = 0, \dots, K.$$

$$P_k^f = E(x_k^f - x_k^t)(x_k^f - x_k^t)^T; P_k^a = E(x_k^a - x_k^t)(x_k^a - x_k^t)^T.$$

Алгоритм фильтра Калмана: Проблемы практической реализации.

Фильтр Калмана – блок-схема



Алгоритм фильтра Калмана: Проблемы практической реализации.

Фильтр Калмана – анализ данных.

$$x_a = x_f + K(y_0 - Hx_f),$$

$$K = PH^T (HPH^T + R)^{-1},$$

$$y_0 = Hx_f + \varepsilon_0,$$

Алгоритм фильтра Калмана: Проблемы практической реализации.

Фильтр Калмана – анализ данных.



Алгоритм фильтра Калмана: Проблемы практической реализации.

Ансамблевый подход.

Матрица P оценивается по формуле:

$$P^f H^T = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i^f - \bar{x}_i^f)(Hx_i^f - H\bar{x}_i^f)^T,$$
$$HP^f H^T = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (Hx_i^f - H\bar{x}_i^f)(Hx_i^f - H\bar{x}_i^f)^T.$$

Заметим, что

- при оценке матрицы предполагается, что отклонение от среднего ведет себя как отклонение от «истины»;
- ранг матрицы P , оцененной по ансамблю, равен числу членов ансамбля.

Проблемы практической реализации: усвоение спутниковых данных

$$\mathbf{3DVAR} \rightarrow \begin{cases} 2J(\mathbf{x}) = (\mathbf{x} - \mathbf{x}_b)^T \mathbf{P}_b^{-1} (\mathbf{x} - \mathbf{x}_b) + (\mathbf{y}_0 - \mathbf{H}(\mathbf{x}))^T \mathbf{R}^{-1} (\mathbf{y}_0 - \mathbf{H}(\mathbf{x})) \\ \mathbf{x}_a = \mathbf{x}_b + (\mathbf{P}_b^{-1} + \mathbf{H}^T \mathbf{R}^{-1} \mathbf{H})^{-1} \mathbf{H}^T \mathbf{R}^{-1} (\mathbf{y}_0 - \mathbf{H}(\mathbf{x}_b)) \end{cases}$$

- Необходимо преобразовывать переменные модели в наблюдаемые переменные.
- Оператор \mathbf{H} нелинейный.
- Данные поступают непрерывно по времени.
- Матрица ковариаций ошибок наблюдений недиагональная.
- наличие систематической ошибки в наблюдениях (bias).

Проблемы усвоения спутниковых данных:

- *Вводимые допущения:*
 - а. Ошибки наблюдений «несмещенные».*
 - б. Случайные поля ошибок наблюдений нормально распределены.*
- *«Retrivals» или «radiation».*
- *Проблема контроля качества наблюдений.*
- *Задание ковариационной матрицы ошибок прогноза.*
- *Большое количество наблюдений не всегда дает наилучший результат.*

Усвоение данных об окружающей среде

1. Моделирование распространения в атмосфере:
 - Пассивных газовых составляющих (CO_2 , CH_4).
 - Химически активных веществ.
 - Аэрозолей.
2. Данные наблюдений.
3. Восстановление пространственно-временного распределения примесей на основе систем усвоения данных.
4. Оценка областей, влияющих на картину загрязнения в заданном регионе.
5. Оценка потоков газовых составляющих на основе полей, полученных с помощью системы усвоения данных.

Далее представлен краткий обзор состояния исследований в этой области.

Проект GEMS (2005-2009)

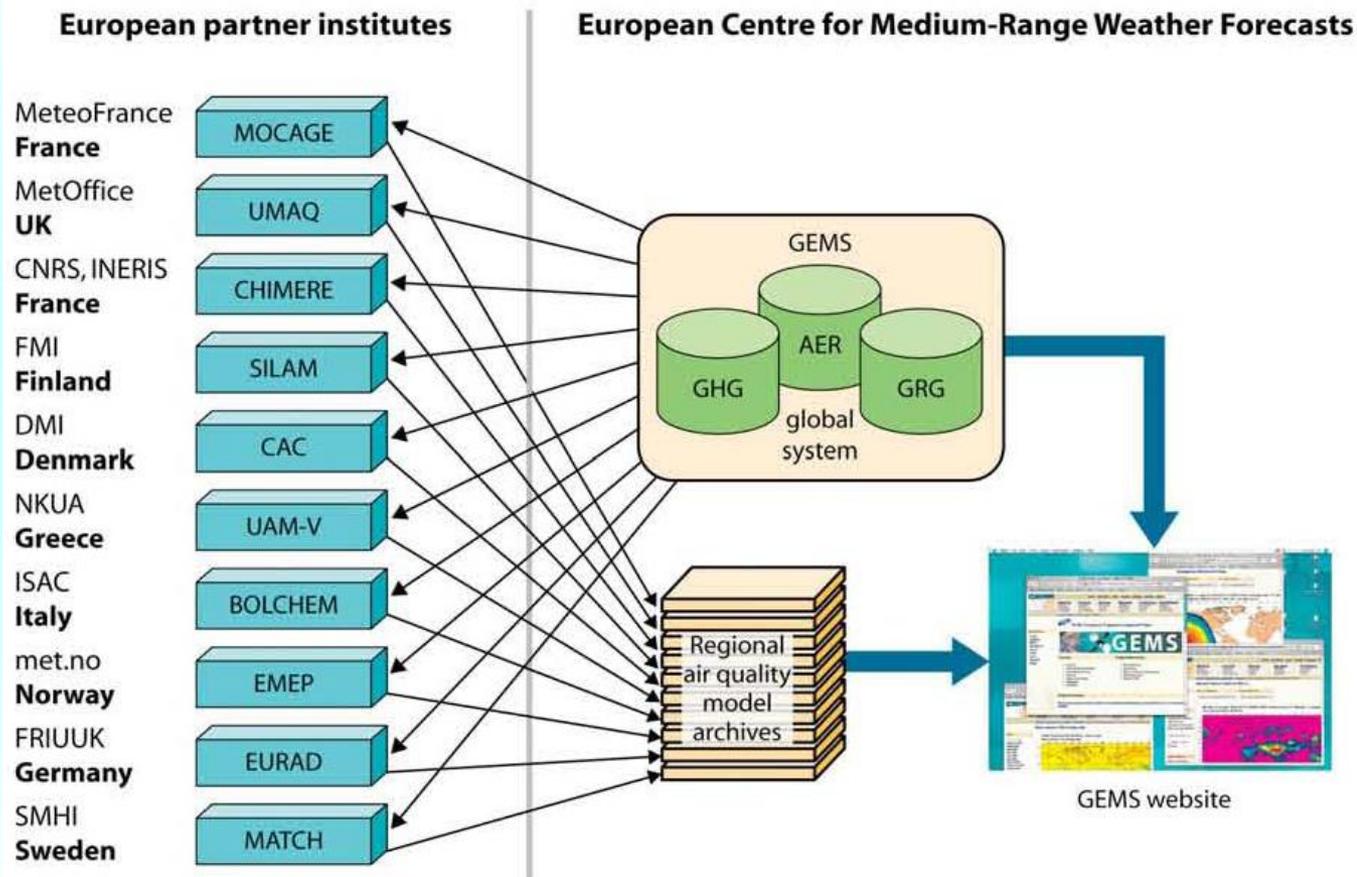


FIG. 11. Illustration of the model data flows between the central site at ECMWF and the GEMS regional modeling partners.

Проект MACC (2009) – Monitoring Atmospheric Composition and Climate

Monitoring atmospheric composition & climate

[Login](#) | [Site map](#) | [Print](#)

[HOME](#) [NEWS](#) [ABOUT THE PROJECT](#) [SERVICES](#) [DATA PRODUCTS](#) [DOCUMENTS](#) [EVENTS](#) [CONTACT US](#)

Home >

Home
News
About the Project
Services
Data Access
Documents
Events
Contact us

Today's Forecasts
Reactive Gases
Aerosols
European Air Quality
UV Index

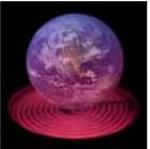
Services by theme

Latest News
Reanalysis production started
Volcanic Eruption in Iceland
-> [News Archive](#)

Services by Theme
European Air Quality
Global Atmospheric Composition
Climate forcing
UV, Solar Energy, Stratospheric Ozone

Services by User
Health Community
Environmental Agencies
Science Community
Citizens
Meteorological Institutes

Quick Links
GEMS 
PROMOTE 
GMES 

European Air Quality 
Global Atmospheric Composition 
Climate 
UV, Solar Energy, Stratospheric Ozone 

Services by user

Health  **Environment**  **Science Community**  **Citizen**  **Meteorology** 

Potential users of MACC are invited to complete the questionnaire at this [link](#)

MACC is a Collaborative Project (2009-2011) funded by the European Union under the 7th Framework Programme. It is coordinated by the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts and operated by a 45-member consortium.



About the Project

[Project Structure](#)
[Partners](#)
[Product Portfolio](#)

Today's Forecasts

[Reactive Gases](#)
[Aerosols](#)
[European Air Quality](#)
[UV Index](#)

Partners
 show all | show partners from 
List of Partners

ID	PARTNER	SHORT NAME	COUNTRY
1	European Centre for Medium-Range Weather Forecasts	ECMWF	
2	Met Office	UKMET	
3.1	Laboratoire de Météorologie Dynamique	CNRS-LMD	
3.2	Laboratoire d'Aérodynamique	CNRS-LA	
3.3	Laboratoire Interuniversitaire des Systèmes Atmosphériques	CNRS-LISA	
3.4	Cloud-Aerosol-Water-Radiation Interactions	CNRS-ICARE	
4	Commissariat à l'Energie Atomique	CEA	
5	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.	DLR	
6	Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e. V.	MPG	
7	Royal Netherlands Meteorological Institute [Chemistry and Climate, Climate Observations]	KNMI	
8	Institut d'Aéronomie spatiale de Belgique	BIRA-IASB	
9	Ilmatieteen Laitos - Finnish Meteorological Institute	FMI	
10	Danish Meteorological Institute	DMI	
11	Deutscher Wetterdienst	DWD	
12	University of Bremen	IUP-UB	
13	Université Pierre et Marie Curie - Paris 6	UPMC-SA	
14	National and Kapodistrian University of Athens	NKUA	
15	Météo-France - Centre National de Recherches Météorologiques	MF-CNRM	
16	National University of Ireland, Galway	NUIG	
17	Swedish Meteorological and Hydrological Institute	SMHI	
18	ARPA Emilia Romagna	ARPA-ER	
19	Agencia Estatal de Meteorología	AEMet	
20	Meteorologisk Institut	MET.NO	
21	Rheinisches Insti. für Umweltforschung an der Universität zu Köln	FRIUUK	
22	European Commission - Joint Research Centre	EC-DG-JRC	
23	Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques	INERIS	
24	Czech Hydrometeorological Institute	CHMI	
25	National Meteorological Administration, Romania	NMA	
26	Institute of Environmental Protection	PIEP	

Services by Theme

[European Air Quality](#)
[Global Atmospheric Composition](#)
[Climate forcing](#)
[UV, Solar Energy, Stratospheric Ozone](#)

Services by User

[Health Community](#)
[Environmental Agencies](#)
[Science Community](#)
[Citizens](#)
[Meteorological Institutes](#)

Quick Links

[GEMS](#) 
[PROMOTE](#) 
[GMES](#) 

MACC Project - Partners

27	Imperial College of Science, Technology and Medicine	IMPERIAL	
28	Forschungszentrum Jülich GmbH	FZJ	
29	Environmental Agency of the Republic of Slovenia	ARSO	
30	Association pour la recherche et le développement des méthodes et processus industriels	ARMINES	
31	Netherlands Institute for Space Research	SRON	
32	University of Leeds	UNIVLEEDS	
33	King's College London	KCL	
34	Vrije Universiteit, independent entity of Vereniging voor Christelijk hoger onderwijs, wetenschappelijk onderzoek en patientenzorg	VUA	
35	Umweltbundesamt GmbH	UBA-AT	
36	Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek	TNO	
37	Cambridge Environmental Research Consultants Ltd	CERC	
38	Carlo Gavazzi Space S.p.A.	CGS	
39	Flyby s.r.l.	Flyby	
40	Centre Européen de Recherche et Formation avancée en Calcul Scientifique	CERFACS	
41	Centre National d'Etudes Spatiales	CNES	
42	Norsk Institutt for Luftforskning	NILU	
43	National Research Council	CNR	
44	National Environmental Protection Agency	NEPA	
45	University of the West of Scotland	UWS	

MACC is a Collaborative Project (2009-2011) funded by the European Union under the 7th Framework Programme. It is coordinated by the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts and operated by a 45-member consortium.





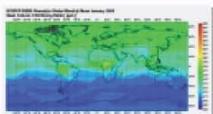

- [Home](#)
- [News](#)
- [About the Project](#)
- [Services](#)
- [Data Products](#)
- [Documents](#)
- [Events](#)
- [Contact Us](#)

Home > Data Access >

- [Home](#)
- [News](#)
- [About the Project](#)
- [Services](#)
- [Data Access](#)
- [Documents](#)
- [Events](#)
- [Contact us](#)

Data Access

GEMS datasets

DATASET	PARAMETERS	PERIOD	AREA	LINK
 GEMS Reanalysis	chemical and aerosol species, meteorological parameters	1.1.2003 - 30.4.2009	global	

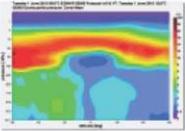
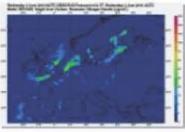
- Today's Forecasts**
- [Reactive Gases](#)
 - [Aerosols](#)

- Services by Theme**
- [European Air Quality](#)
 - [Global Atmospheric Composition](#)
 - [Climate forcing](#)
 - [UV, Solar Energy, Stratospheric Ozone](#)

- Services by User**
- [Health Community](#)
 - [Environmental Agencies](#)

European Air Quality

UV Index

 <p>GEMS Near-real-time Analysis/Forecast Suite</p>	<p>chemical and aerosol species</p>	<p>5.7.2008 - 29.9.2009</p>	<p>global</p>	
 <p>GEMS Regional Air Quality Forecasts</p>	<p>chemical and aerosol species</p>	<p>last 8 days</p>	<p>Europe</p>	

Science Community

Citizens

Meteorological

Institutes

Quick Links

[GEMS](#)

[PROMOTE](#)

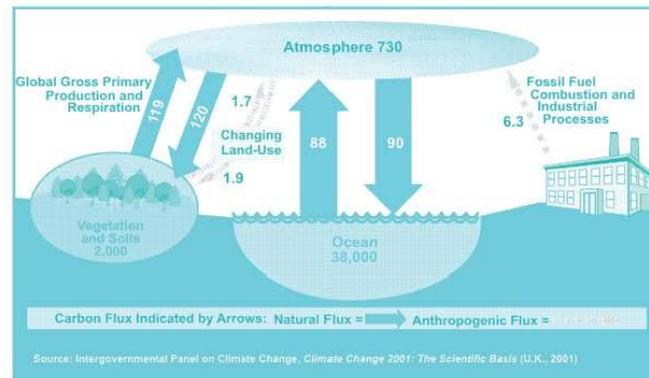
[GMES](#)

MACC is a Collaborative Project (2009-2011) funded by the European Union under the 7th Framework Programme. It is coordinated by the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts and operated by a 45-member consortium.



Работы по усвоению спутниковых данных о CO₂

AIRS CO₂ data assimilation with Ensemble Kalman filter: preliminary results



Junjie Liu¹

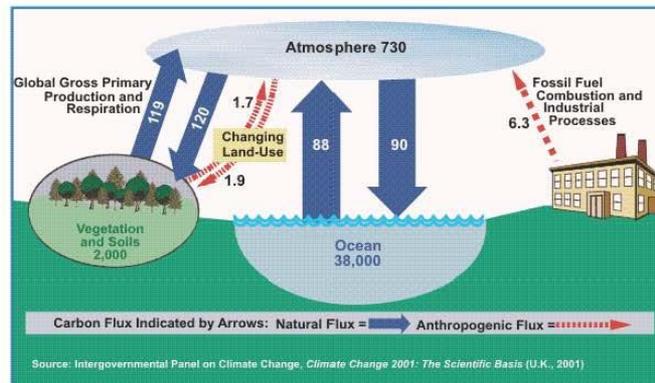
Eugenia Kalnay² and Inez Fung¹

¹UC Berkeley; ²University of Maryland

Many thanks to **Edward Olsen** and **Moustafa Chahine** for kindly providing us their AIRS L2 CO₂ retrievals and guidance! Other collaborators include **Yu-Heng Tseng**, **Michael Wehner** and **Masao Kanamitsu**.

Работы по усвоению спутниковых данных о CO₂

AIRS CO₂ data assimilation with Ensemble Kalman filter: preliminary results



Junjie Liu¹

Inez Fung¹ and Eugenia Kalnay² ¹UC Berkeley;
²University of Maryland

Many thanks to Edward Olsen and Moustafa Chahine for kindly providing us their AIRS L2 CO₂ retrievals and guidance! Other collaborators include Yu-Heng Tseng, Michael Wehner and Masao Kanamitsu.

Работы по усвоению спутниковых данных о CO₂

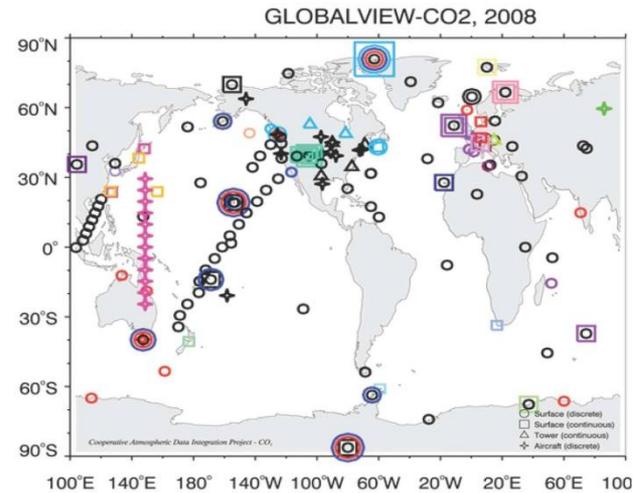
Motivation & Goals

Motivation:

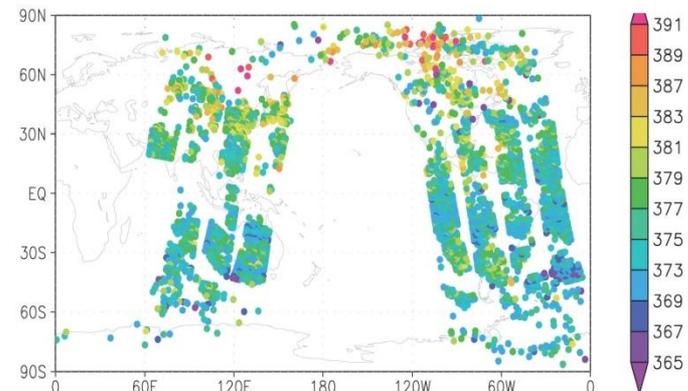
Accurate carbon flux estimation from inversion needs far more CO₂ observations than current surface obs can provide.

Goals:

1. Generate global CO₂ map every 6-hour; start with AIRS, then GoSat
2. Propagate AIRS CO₂ in both horizontal and vertical direction through data assimilation and transport model



AIRS CO₂ at 18Z01May2003 (+/-3hour)



Работы по усвоению спутниковых данных о CO₂

TECHNICAL MEMORANDUM

572

Four-dimensional data assimilation
of atmospheric CO₂ using AIRS
observations

Richard J. Engelen¹, Soumia Serrar¹, and
Frédéric Chevallier²

¹European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, Reading, UK
²Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, Gif sur Yvette, France

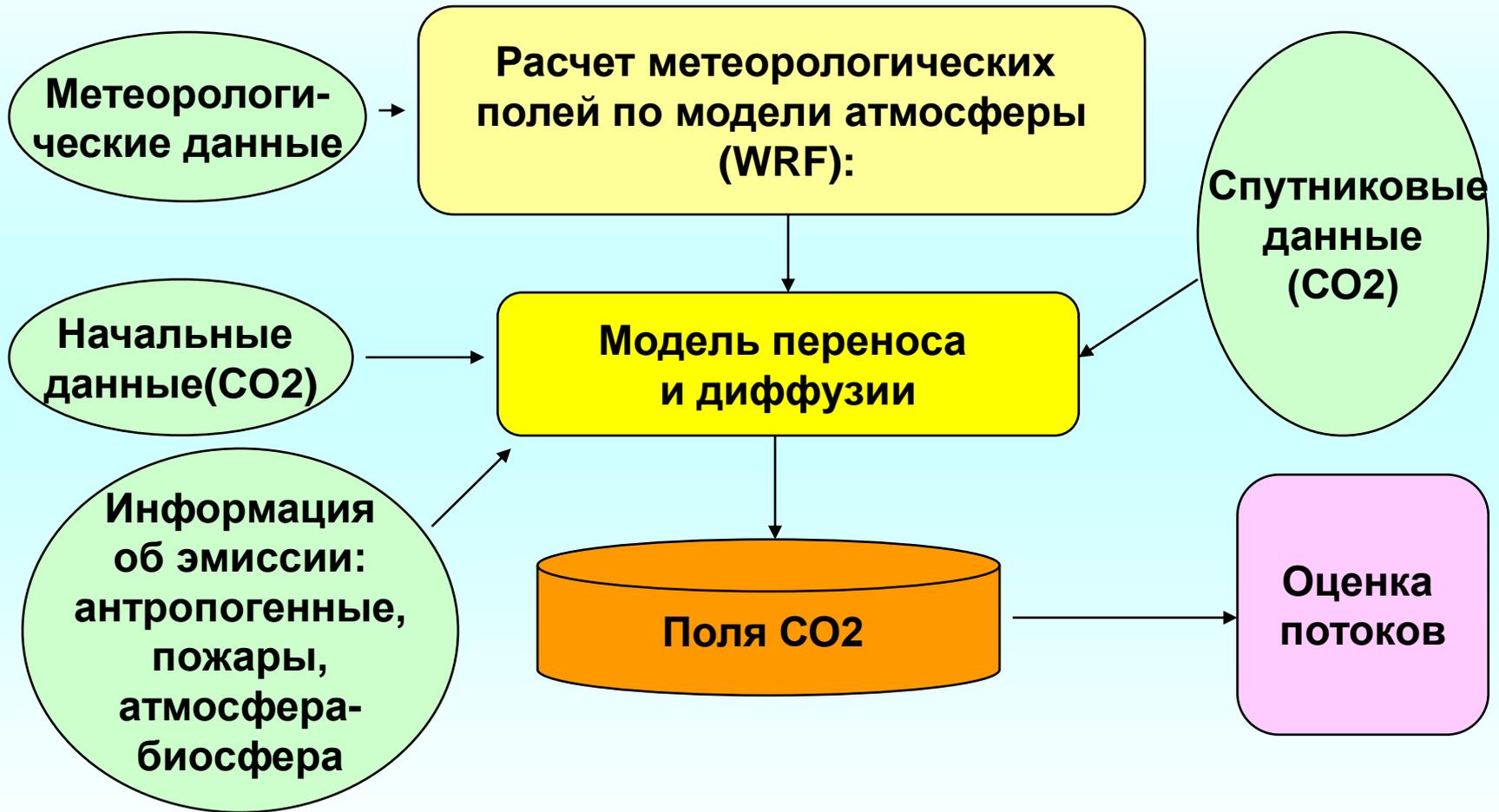
Research Department

Submitted to *Journal of Geophysical Research*
August 2008

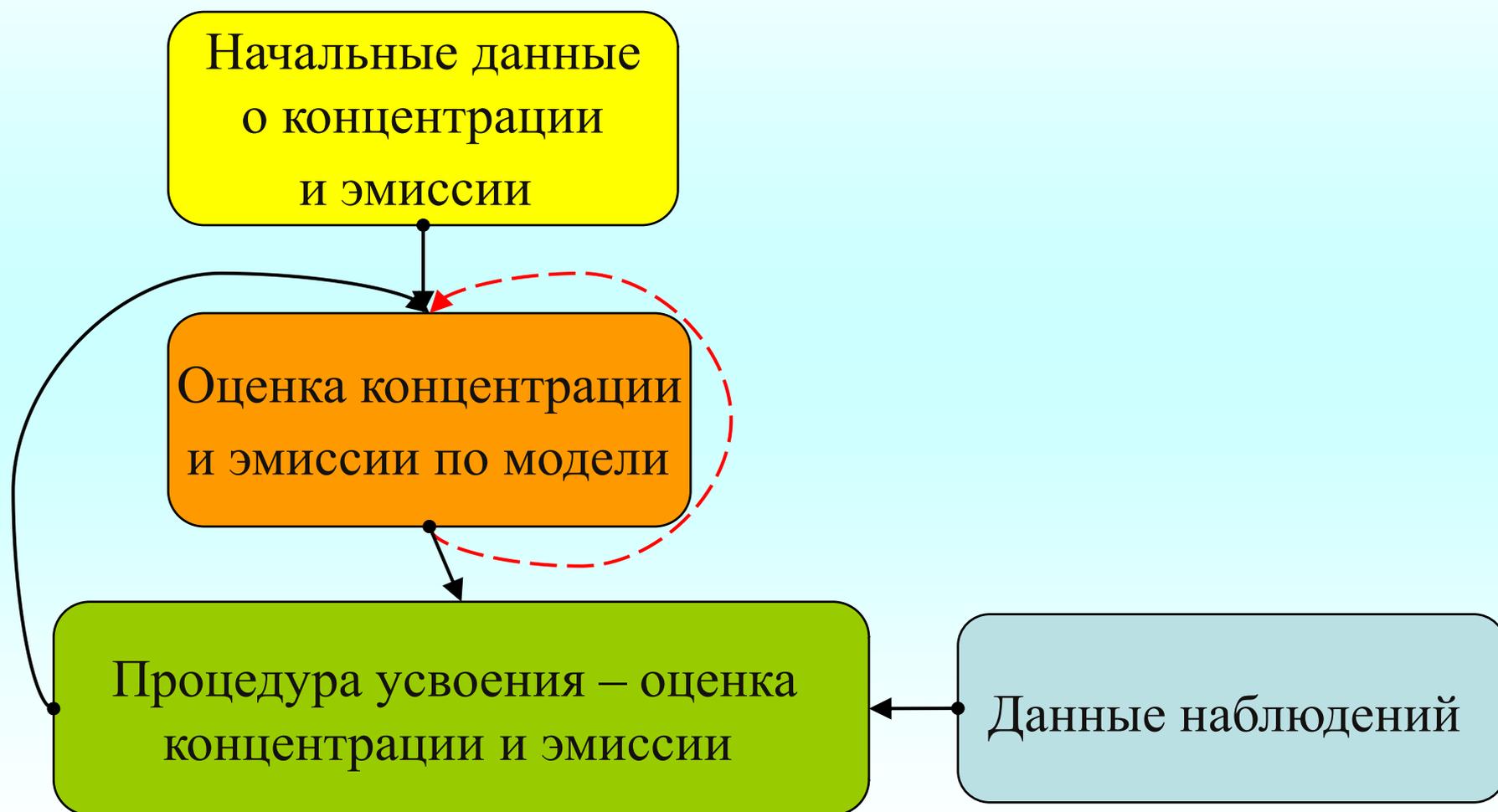
This paper has not been published and should be regarded as an Internal Report from ECMWF.
Permission to quote from it should be obtained from the ECMWF.

 European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
Europäisches Zentrum für mittelfristige Wettervorhersage
Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme

*Схема усвоения данных о пассивных
газовых составляющих:*



*Численные эксперименты по оценке концентрации и эмиссии
пассивной примеси (Киланова Н.В., ИВТ СО РАН)*



Субоптимальный алгоритм фильтра Калмана

Модель переноса и диффузии
пассивной примеси:

$$x_{k+1} = Ax_k + \eta_k$$

(x – концентрация пассивной примеси,
 η – эмиссия)

$$\eta_0 = \tilde{\eta} \quad \eta_{k+1} = \eta_k$$

Ковариационная матрица
ошибок прогноза:

$$P_k^f = \overline{\Delta x_k (\Delta x_k)^T} \cong \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N \Delta x_i (\Delta x_i)^T$$

$$\Delta x_k = x_k^f - x_k^t$$

Модель для оценки эмиссии:

$$\eta_k = \tilde{\eta} (1 + \delta \eta_k)$$

$$\delta \eta_{k+1} = \alpha \delta \eta_k + (\sqrt{1 - \alpha^2}) \chi_k$$

Оценка концентрации и эмиссии в процедуре усвоения данных

«Истинное» поле
концентрации
и эмиссии:

$$x_k^t = Ax_{k-1}^t + \eta_{k-1}^t + \varepsilon_{k-1}$$

$$\eta_0^t = \bar{\eta} \quad \eta_0^t = \tilde{\eta}(1 + \delta\eta_0^t)$$

$$\eta_k^t = \eta_{k-1}^t \quad \delta\eta_k^t = \alpha\delta\eta_{k-1}^t + \sqrt{1-\alpha^2} * \chi_{k-1}^t$$

Прогноз концентрации:

$$x_k^f = Ax_{k-1}^f + \eta_{k-1}^f$$

$$\eta_0^f = 0 \quad \eta_0^f = \tilde{\eta}(1 + \delta\eta_0^f)$$

$$\eta_k^f = \eta_{k-1}^f \quad \delta\eta_k^f = \alpha\delta\eta_{k-1}^f + \sqrt{1-\alpha^2} * \chi_{k-1}^f$$

Данные наблюдений: $y_k^o = M_k x_k^t + \xi_0$

Эксперимент 1 – восстанавливается абсолютное значение эмиссии. Начальное приближение поля эмиссии нулевое.

Эксперимент 2 – восстанавливается значение поправочного множителя.

Оценка концентрации и эмиссии:

$$x_k^a = x_k^f + P_k^f M_k^T (M_k P_k^f M_k^T + R_k)^{-1} (y_k^o - M_k x_k^f)$$

$$P_k^f = \overline{\Delta x_k (\Delta x_k)^T} \cong \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N \Delta x_i (\Delta x_i)^T$$

$$\eta_k^a = \eta_k^f + \overline{\Delta x (\Delta \eta)^T} (M_k P_k^f M_k^T + R_k)^{-1} (y_k^o - M_k x_k^f)$$

$$\Delta \eta_k = \eta_k^f - \eta_k^t$$

$$\delta \eta_k^a = \delta \eta_k^f + \overline{\Delta x (\Delta \delta \eta)^T} (M_k P_k^f M_k^T + R_k)^{-1} (y_k^o - M_k x_k^f)$$

$$\Delta \delta \eta_k = \delta \eta_k^f - \delta \eta_k^t$$

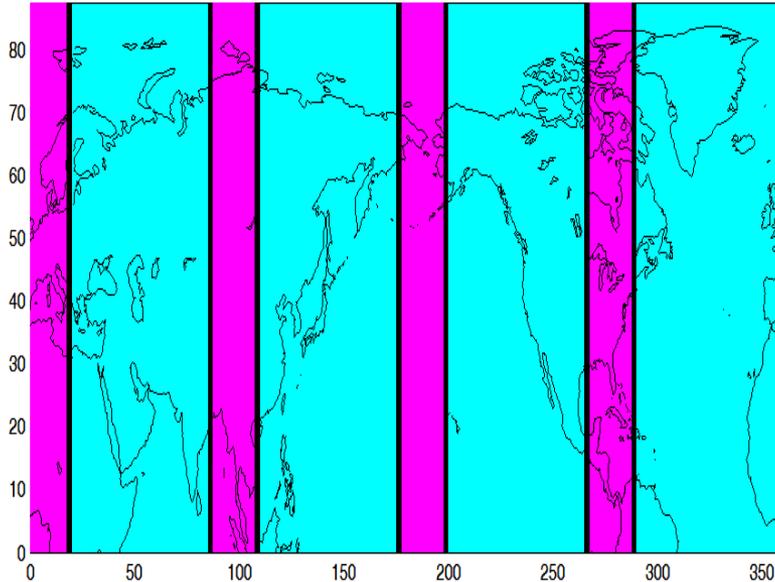
«Моделирование» данных наблюдений

«Истина»: $x_0^t = \tilde{x}, \quad x_k^t = Ax_{k-1}^t + \eta_{k-1}^t$

Прогноз: $x_0^f = \tilde{x} + \varepsilon_0, \quad x_k^f = Ax_{k-1}^f + \eta_{k-1}^f, \quad \varepsilon_0 = N(0, \sigma_0^2)$

Данные: $y_k^o = M_k x_k^t + \varepsilon_1 \quad \varepsilon_1 = N(0, \sigma_0^2)$

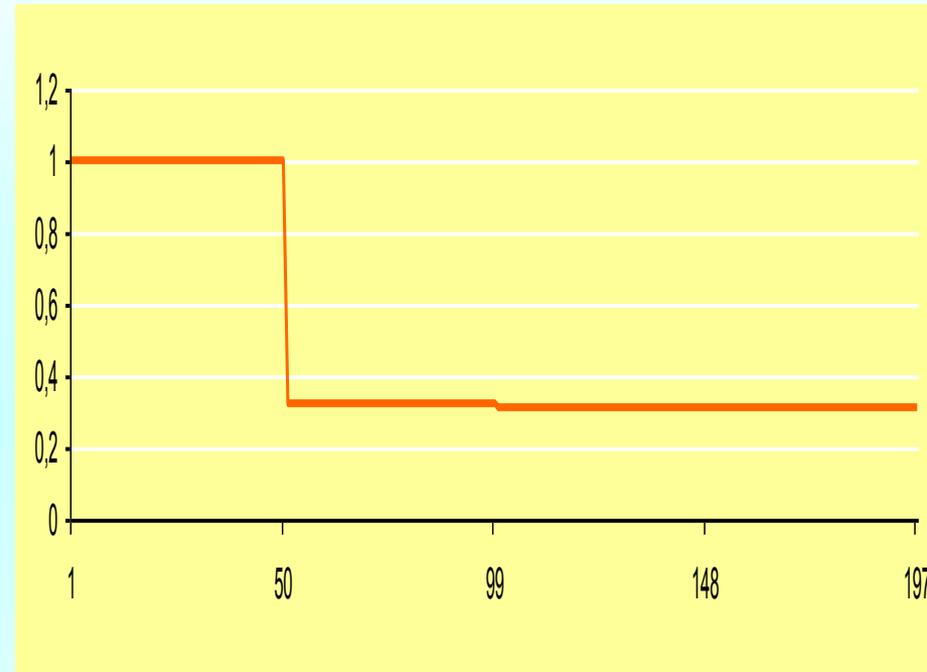
Эксперимент с равномерным моделированием данных



Распределение данных наблюдений

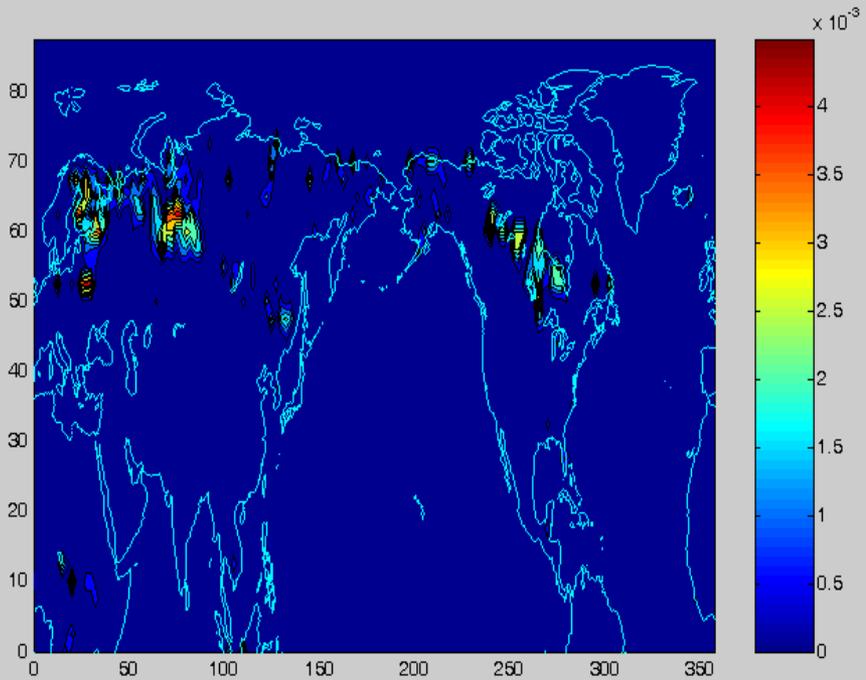
В эксперименте в начальный момент времени в каждой точке сетки задается

Болин Б., Деес Б.Р., Ягер Дж., Уоррик Р. Парниковый эффект, изменение климата и экосистемы. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 557с.



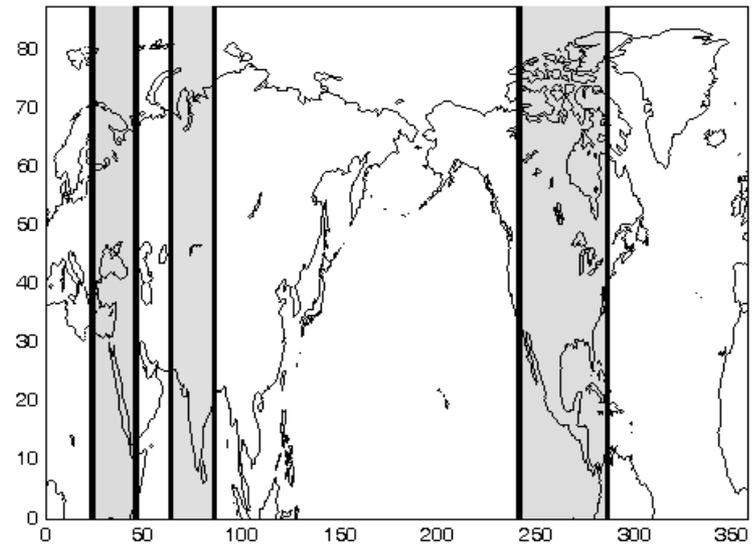
Относительная ошибка оценки эмиссии

Эксперимент с неравномерным моделированием данных



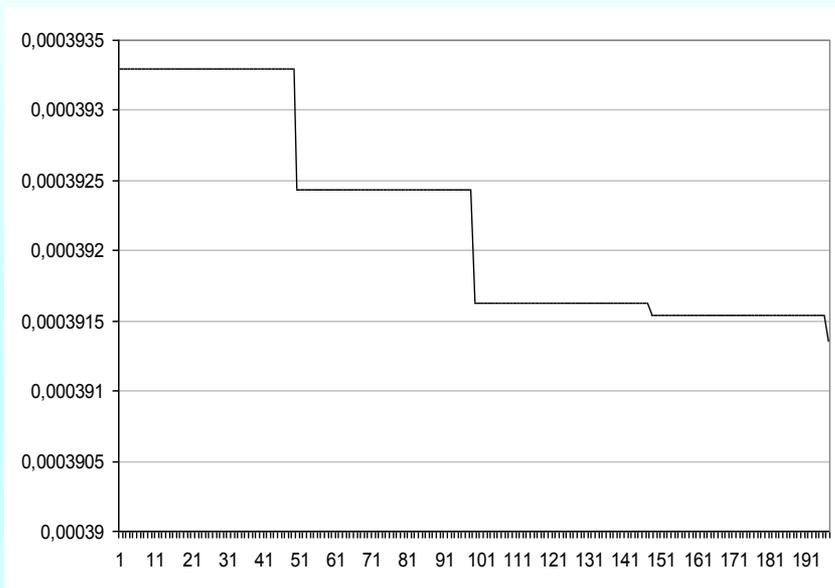
Начальное приближение поля эмиссии ($t=0$)

Boden T.A., Kaiser D.P., Sepanski R.J., Stoss F.W.
Trends '93: A Compendium of Data on Global Change.
Tennessee, 1994. 1012 p.

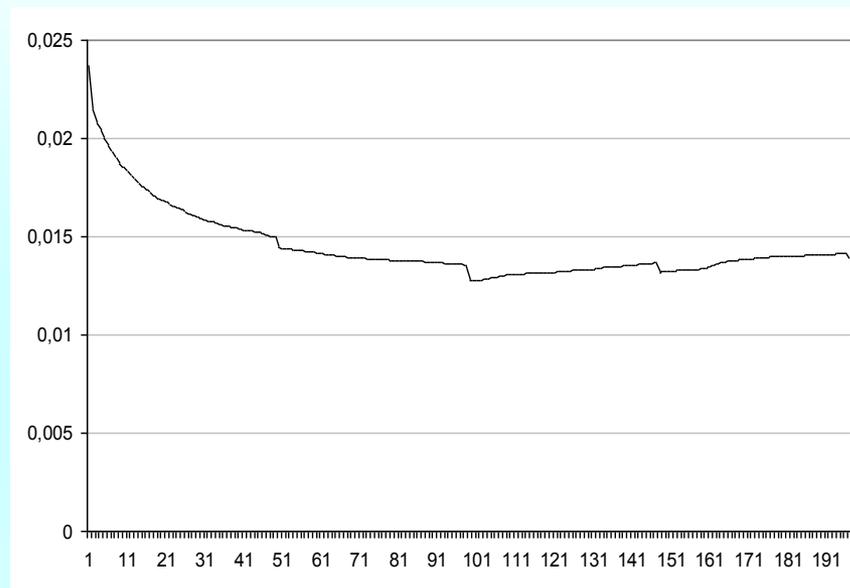


Распределение данных наблюдений

Оценки ошибок эмиссии и концентрации



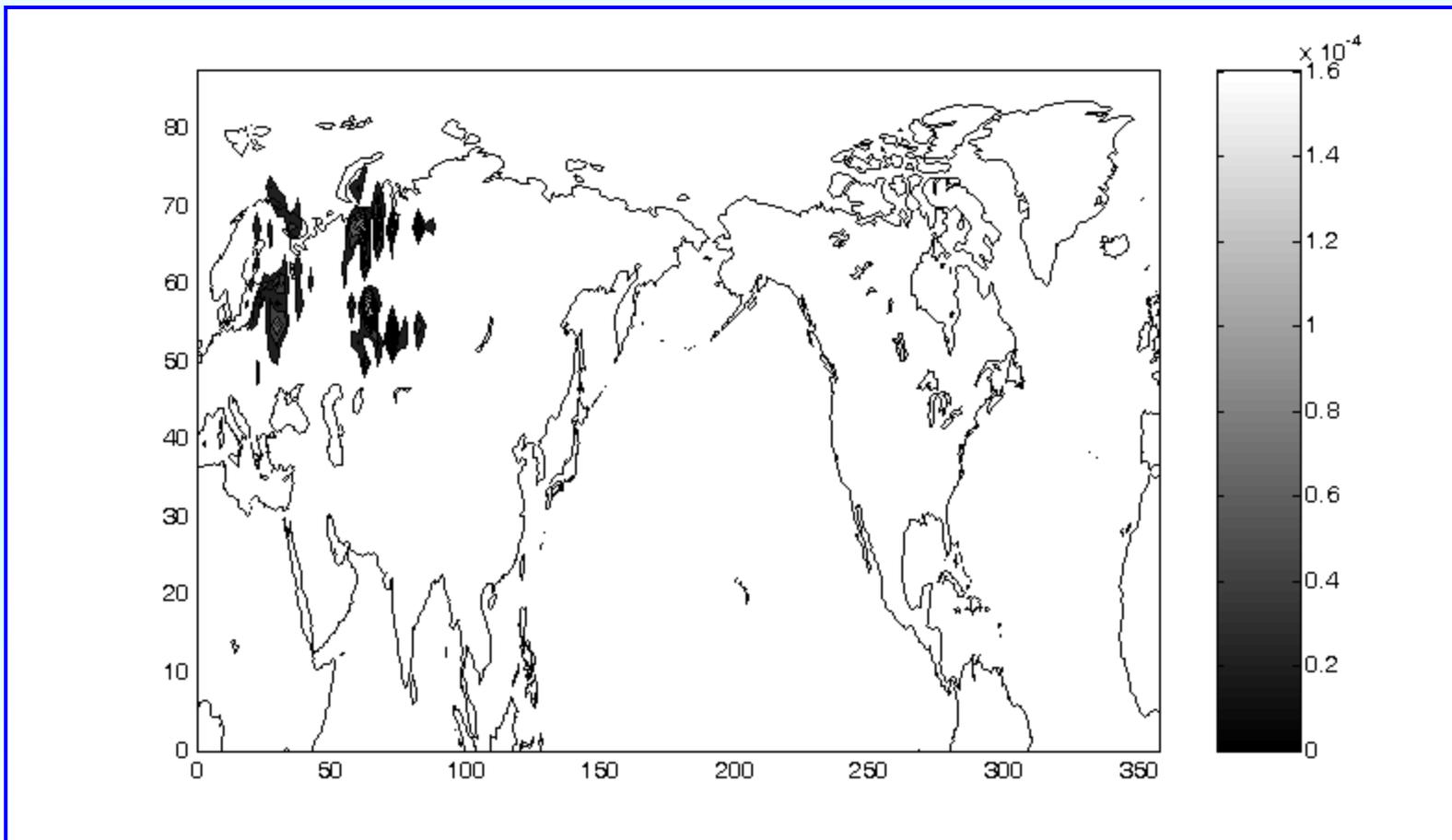
Среднеквадратическая оценка
ошибки эмиссии



Среднеквадратическая оценка
ошибки концентрации

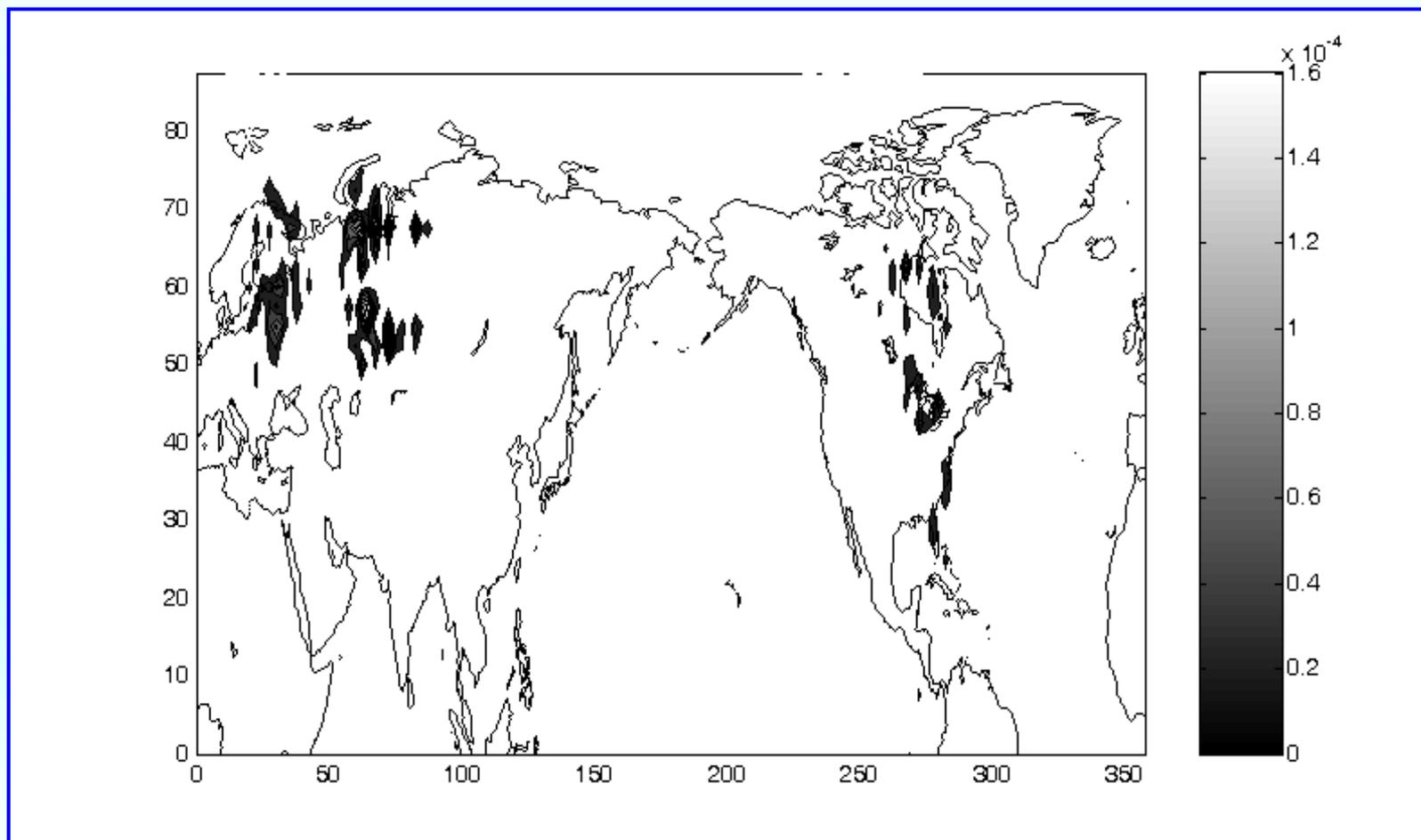
*Оценки, полученные при проведении эксперимента 1.
(восстанавливается абсолютное значение эмиссии. Начальное приближение поля эмиссии нулевое)*

Оценка поля эмиссии при $t=24$ часа. Предполагается, что каждые 12 часов имеются данные наблюдений, таким образом проведено две процедуры усвоения.



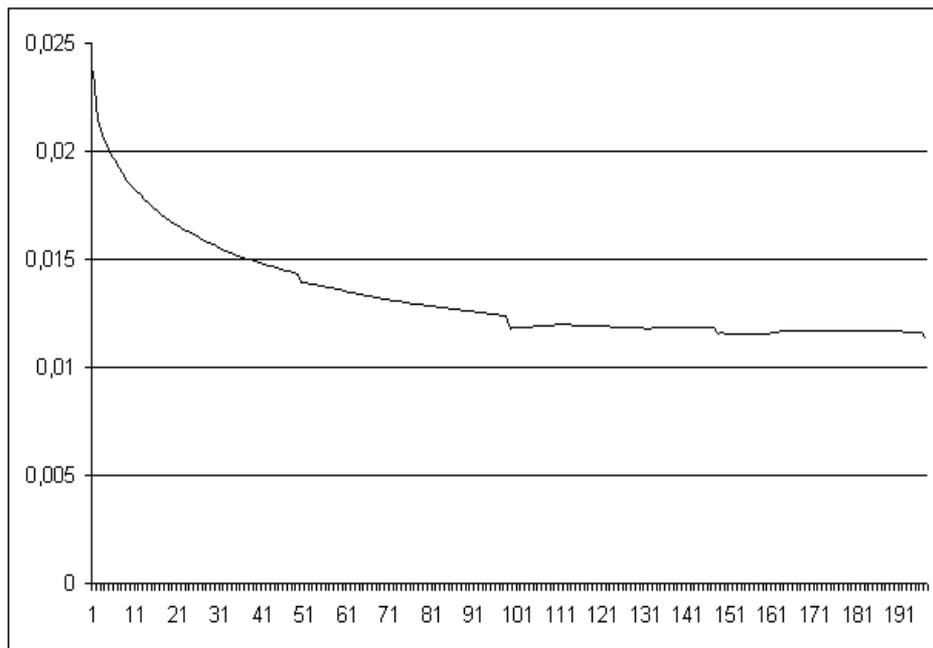
Эксперимент 1.

Оценка поля эмиссии при $t=48$ часов. Проведено четыре процедуры усвоения.

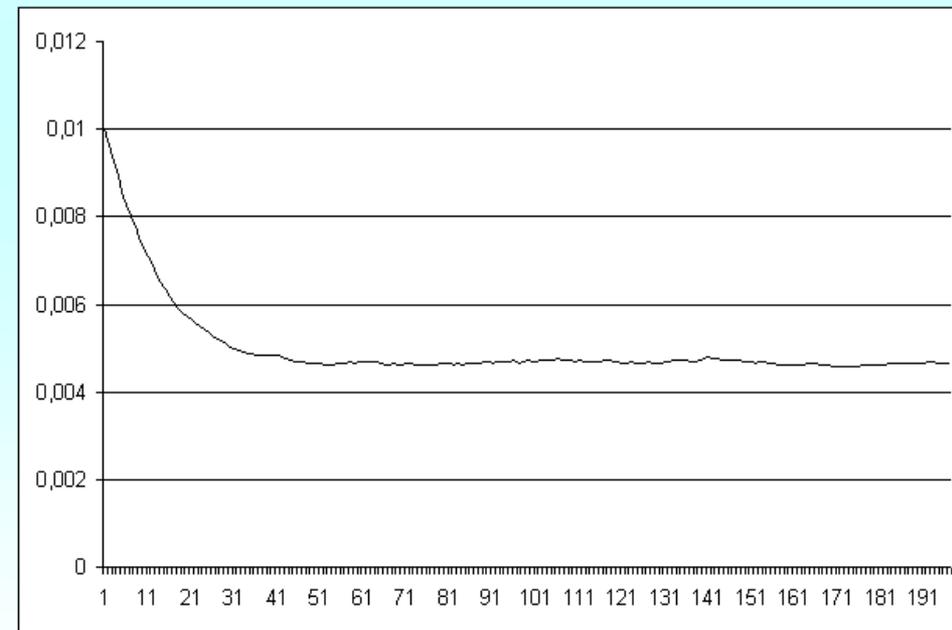


Эксперимент 1.

***Оценки ошибок концентрации и
поправочного множителя эмиссии
(изменение эмиссии по модели, эксперимент 2)***

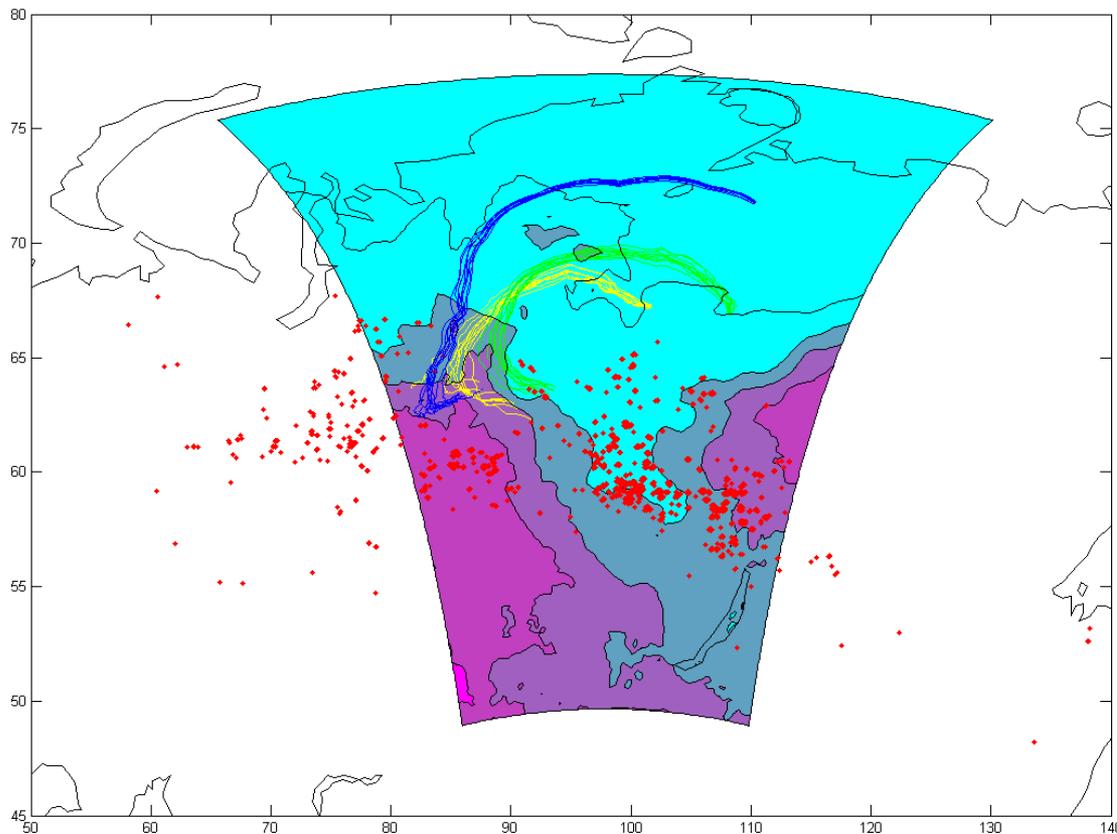


**Среднеквадратическая оценка
ошибки концентрации**



**Среднеквадратическая оценка
ошибки поправочного множителя эмиссии**

**Численные эксперименты по оценке концентрации CO₂ в зоне
массовых лесных пожаров (Дубровская О.А., ИВТ СО РАН)
Ансамбль траекторий вычисленных по метеорологическим данным (Июль,
21,2006)**



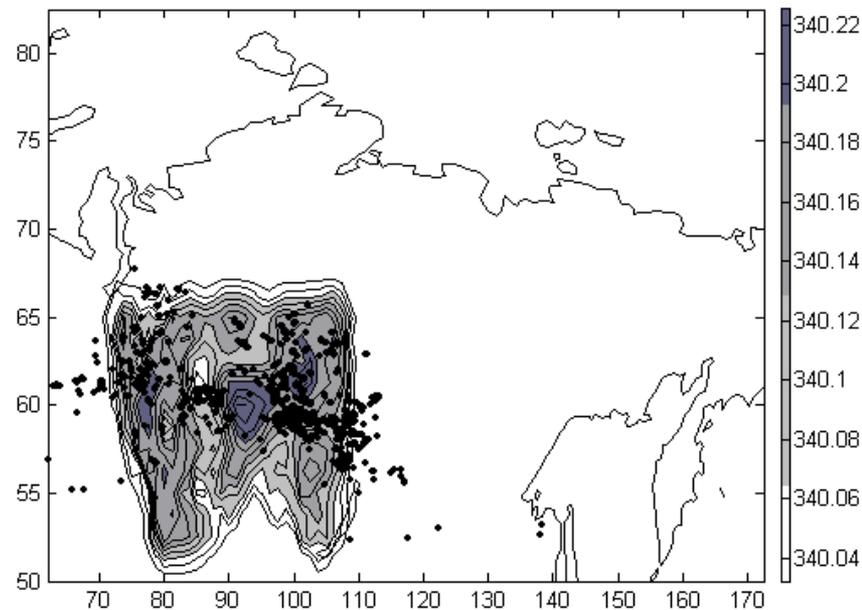
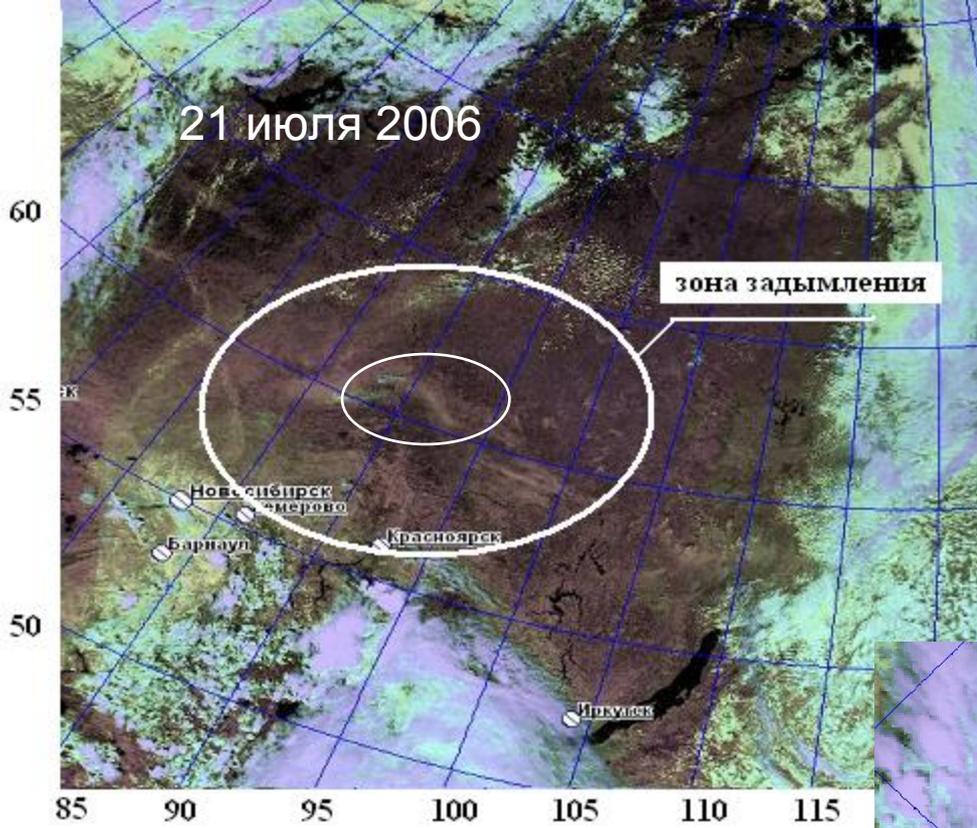
желтым: 66°N 106° E
(for 96 h)

зеленым: 67°N 110°E
(for 96 h)

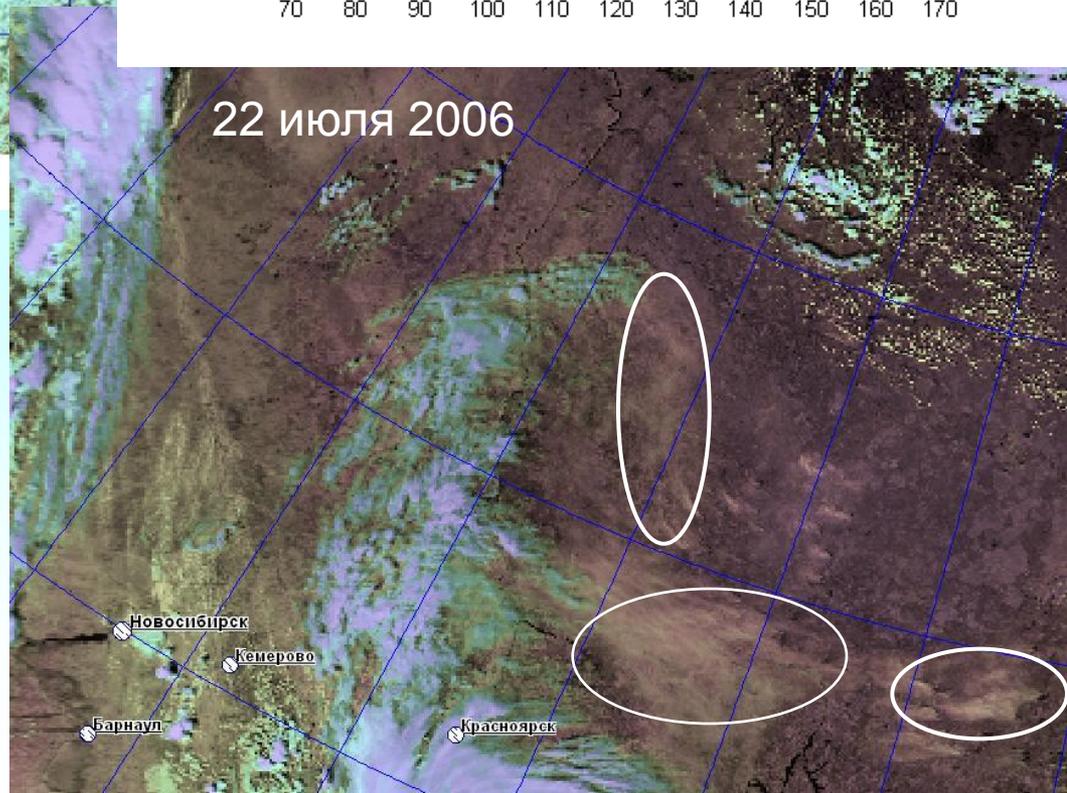
синим: 73°N 110°E
(for 96 h)

красным: fires

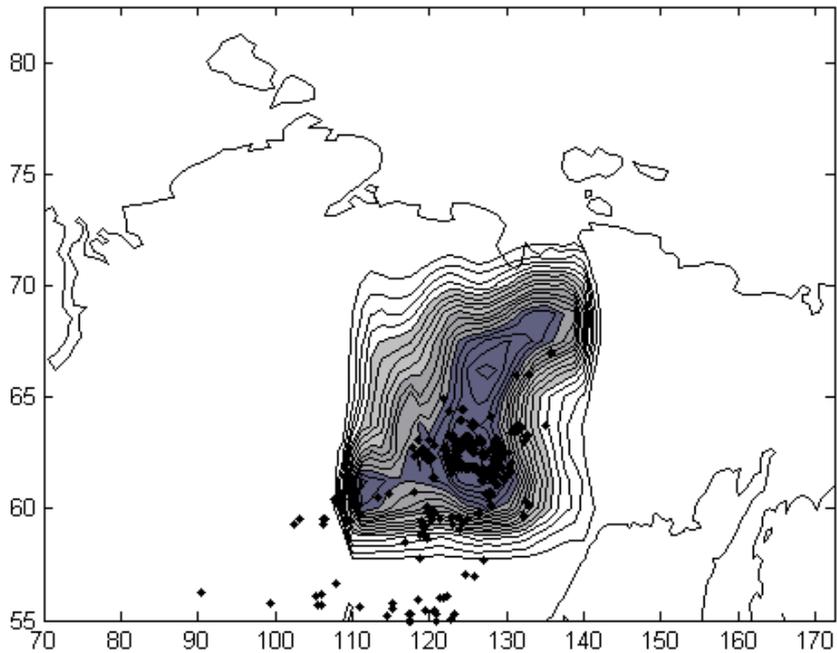
21 июля 2006



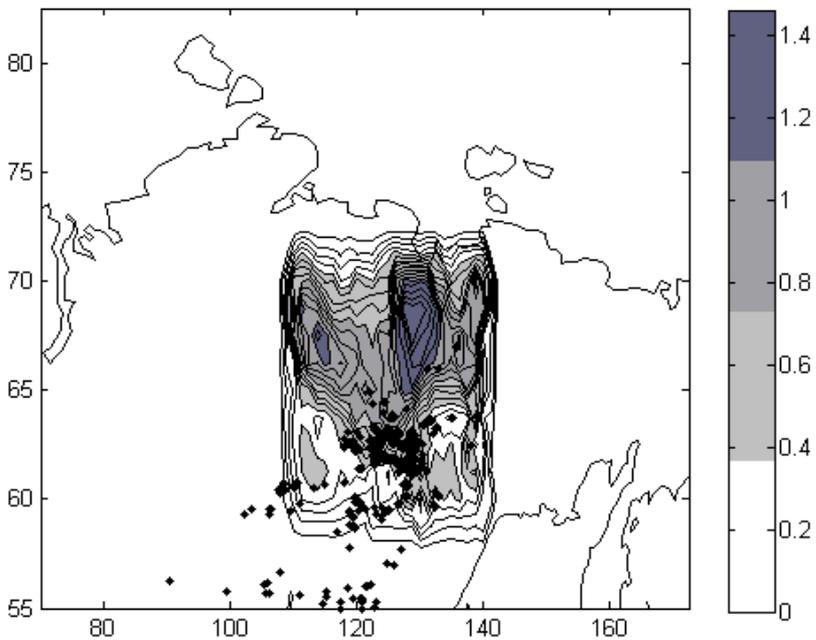
22 июля 2006



Изолинии восстановленных концентраций.
Область распространения дымовых шлейфов
от лесных пожаров. Координаты точки с
максимальной концентрацией CO_2
 $61,5^\circ$ с.ш. и $92,3^\circ$ в.д.



**Среднее значение концентрации
диоксида углерода, вычисленное по
ансамблю из 10 реализаций для 48
часов**



**Дисперсия вычисленная, для
ансамбля траекторий в заданном
регионе (10 реализаций для 120 часов)**

Спасибо за внимание!

