

Российская академия наук

ИНСТИТУТ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАТЕМАТИКИ

**Информационно-вычислительная система
вариационной ассимиляции данных
измерений ИВС-Т2**

Агошков В.И., Ботвиновский Е.А., Гусев А.В., Кочуров А.Г.,
Лебедев С.А., Пармузин Е.И., Шутяев В.П.

Москва 2008

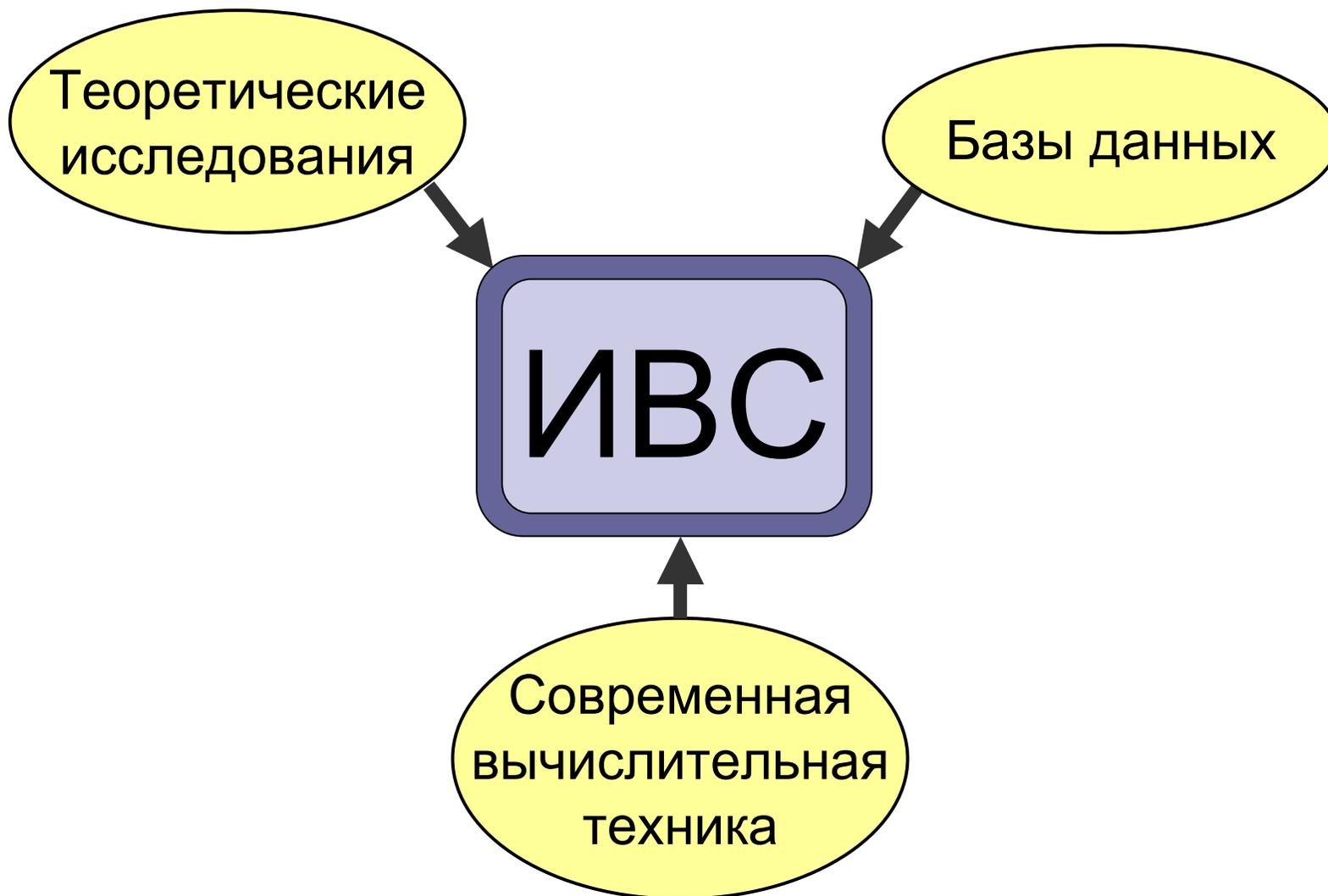


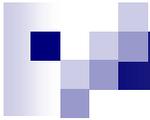
Введение

Проекты ИВМ РАН по проблемам создания систем ассимиляции данных:

В докладе представлены результаты, полученные в 2005 — 2007 годах в Институте вычислительной математики (ИВМ РАН) в рамках проекта «Сопряженные уравнения и методы теории управления в нелинейных задачах математической физики, обратных задачах и задачах ассимиляции данных наблюдений» (рук. — Г.И. Марчук и В.И. Агошков) и по проекту РФФИ 06-01-08055 «Разработка информационно-вычислительной системы вариационной ассимиляции данных измерений для анализа сложных математических моделей» (рук. — Г.И. Марчук) при поддержке Отделения математических наук РАН и РФФИ. Одной из основных целей выполнения указанных проектов совместно с исследованиями по ряду других проектов ИВМ РАН (рук. — Г.И. Марчук и В.Б. Залесный) является разработка ***специализированных Информационно-вычислительных систем вариационной ассимиляции данных наблюдений для расчёта гидрофизических полей в океане и их анализа.***

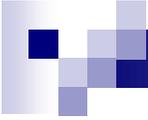
Направления исследований при разработке Информационно-вычислительных систем (ИВС)





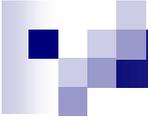
**Приложение исследований – разработка
Информационно-вычислительных систем (ИВС)
для решения задач вариационной ассимиляции
данных наблюдений**

Задача вариационной ассимиляции данных наблюдений – процедура замыкания обратной задачи или задачи управления на основе использования данных наблюдений и минимизации функционала стоимости, выбранного подходящим образом.



Разделы математики и информатики, подходы и результаты которых используются в теоретических исследованиях по разработке ИВС

- Математические модели и теория сложных систем
- Теория оптимального управления и вариационное исчисление
- Теория операторных уравнений и теория краевых задач
- Теория итерационных алгоритмов
- Теория сопряженных уравнений
- Современные численные методы
- Современная вычислительная техника
- Средства информационного обеспечения процессов решения задач



Некоторые результаты ИВМ РАН по разработке ИВС

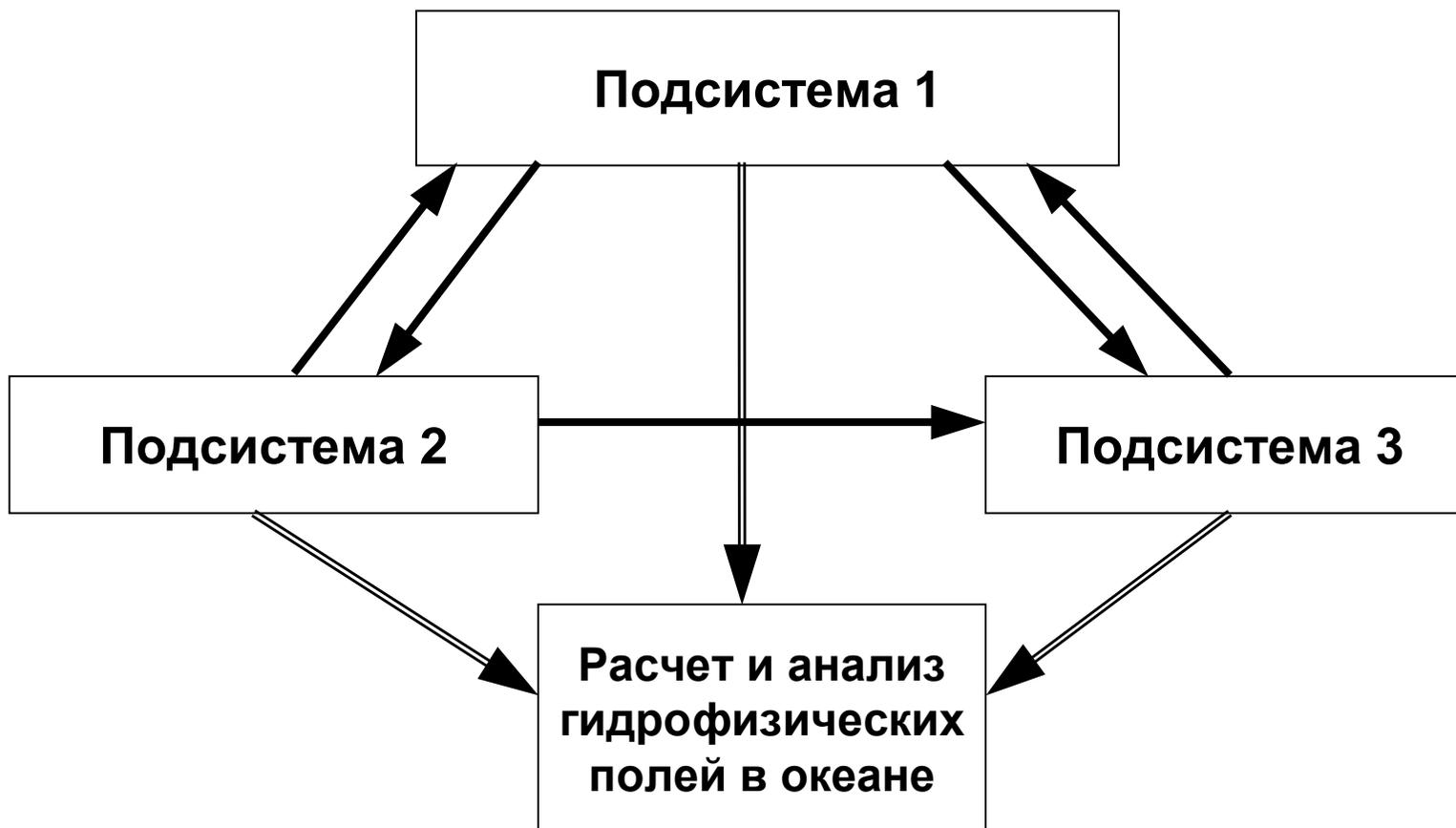
С целью внедрения полученных по проектам ИВМ РАН результатов в практику решения задач усвоения данных в 2005-2007 годах была разработана первая версия «Информационно-вычислительной системы вариационной ассимиляции для анализа сложных моделей» (для инициализации гидрофизических полей в океане, восстановлении тепловых потоков с поверхности океана и др.).

Были разработаны следующие специализированные Информационно-вычислительные системы – Подсистемы общей ИВС:

1. Подсистема для решения основной (прямой) задачи гидротермодинамики в выбранной акватории Мирового океана (Подсистема 1; Гусев А.В., Дианский Н.А.)
2. Подсистема вариационной ассимиляции данных для инициализации гидрофизических полей в океане (Подсистема 2, ИВС-In; Залесный В.Б., Русаков А.С.)
3. Подсистема вариационной ассимиляции данных о поверхностной температуре и солености, а также об уровне (Подсистема 3, ИВС-TSL, и ее модификации ИВС-Т, ИВС-S, ИВС-L; Агошков В.И., Шутяев В.П., Пармузин Е.И., Лебедев С.А., Ботвиновский Е.А., Кочуров А.Г.)



Схема взаимодействия подсистем





Информационно-вычислительная система ИВС-Т2

В рамках выполнения работ по проектам ИВМ РАН Подсистема 3 была реализована в нескольких модификациях: ИВС-Т (когда осуществляется ассимиляция лишь T_{obs}), ИВС-S (- осуществляется ассимиляция S_{obs}), ИВС-L (- осуществляется ассимиляция ξ_{obs}), ИВС-TSL (- осуществляется ассимиляция одновременно T_{obs} , S_{obs} , ξ_{obs}). В свою очередь каждая из данных модификаций также допускает несколько вариантов в зависимости от используемых баз данных наблюдений. Если в ИВС-Т предполагаются известными данные наблюдений T_{obs} **для всей рассматриваемой акватории в некотором временном интервале**, то этот вариант подсистемы назван ИВС-Т1. Если же в ИВС-Т ассимилируемая информация о поверхностной температуре известна лишь в подобласти из всей акватории (причём эти подобласти могут меняться во времени, например, **согласно оперативно получаемым спутниковым данным измерений**), то вариант подсистемы назван **ИВС-Т2**. По структуре все модификации обсуждаемых подсистем близки. Их различия вызваны в первую очередь структурой ассимилируемой информации, способами её хранения и доставки к ИВС интерфейсом. На эти различия влияют также и алгоритмы вариационной ассимиляции, применяемые в той или иной модификации. Ниже мы представляем лишь структуру ИВС-Т2, затем дадим описание Интерфейса к ИВС-Т2 и кратко опишем возможности, допускаемые интерфейсом к ИВС-Т2.



Содержание доклада

1. Математическая модель гидротермодинамики океана, лежащая в основе ИВС-T2
2. Постановка задачи вариационной ассимиляции
3. База данных «Мировой океан – ИВМ РАН»
4. Требования к ИВС-T2
5. Структура ИВС-T2
6. Интерфейс ИВС-T2
7. Примеры расчёта гидрофизических полей океана с применением ИВС-T2 (применительно к акватории Индийского океана)
8. Заключение и перспективы

Информационно-вычислительная система ИВС-Т2

1. Математическая модель

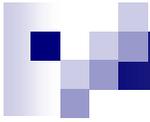
$$\frac{d\vec{u}}{dt} + \begin{bmatrix} 0 & -f \\ f & 0 \end{bmatrix} \vec{u} - g \cdot \mathbf{grad} \xi + A_u \vec{u} + (A_k)^2 \vec{u} = \vec{f} - \frac{1}{\rho_0} \mathbf{grad} P_a - \frac{g}{\rho_0} \mathbf{grad} \int_0^z \rho_1(T, S) dz',$$

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} - m \frac{\partial}{\partial x} \left(\int_0^H \Theta(z) u dz \right) - m \frac{\partial}{\partial y} \left(\int_0^H \Theta(z) \frac{n}{m} v dz \right) = f_3,$$

$$\frac{dT}{dt} + A_T T = f_T, \quad \frac{dS}{dt} + A_S S = f_S,$$

$$\vec{f} = g \cdot \mathbf{grad} G, \quad \Theta(z) \equiv \frac{r(z)}{R}, \quad r = R - z, \quad 0 < z < H.$$

$$\frac{\partial T}{\partial N} = Q, \quad Q = ?, \quad T = T_{obs} \quad \text{при } z = 0$$



- Аппроксимация модели осуществляется на базе **метода расщепления** (Марчук Г.И.)
- Численная реализация – в σ -системе координат (Залесный В.Б., Дианский Н.А., Гусев А.В.)
- Для аппроксимации всех этапов в схеме расщепления применяется метод конечных разностей.

2. Постановка задачи вариационной ассимиляции

Задача I - аппроксимация модели по схеме расщепления:

ШАГ 1. На этом шаге рассматривается задача вида:

$$\left\{ \begin{array}{l} T_t + (\bar{U}, \mathbf{Grad})T - \mathbf{Div}(\hat{a}_T \cdot \mathbf{Grad} T) = f_T \text{ в } D \times (t_{j-1}, t_j), \\ T = T_{j-1} \text{ при } t = t_{j-1} \text{ в } D, \\ \bar{U}_n^{(-)}T - v_T \frac{\partial T}{\partial z} + \gamma_T (T - T_a) = Q_T + \bar{U}_n^{(-)}d_T \text{ на } (\Omega \setminus \Omega_0^{(j)}) \times (t_{j-1}, t_j), \\ -v_T \frac{\partial T}{\partial z} = Q \text{ на } \Omega_0^{(j)} \times (t_{j-1}, t_j), \\ \frac{\partial T}{\partial N_T} = 0 \text{ на } \Gamma_{w,c} \times (t_{j-1}, t_j), \\ \bar{U}_n^{(-)}T + \frac{\partial T}{\partial N_T} = \bar{U}_n^{(-)}d_T + Q_T \text{ на } \Gamma_{w,op} \times (t_{j-1}, t_j), \\ \frac{\partial T}{\partial N_T} = 0 \text{ на } \Gamma_H \times (t_{j-1}, t_j) \end{array} \right.$$

и полагается $T_j \equiv T$ в $D \times (t_{j-1}, t_j)$.

ШАГ 2. Задача для функции солёности S

ШАГ 3. Задача для уравнений движения

Задача ассимиляции данных о поверхностной температуре

Предположим, что единственной функцией, которая при $t \in (t_{j-1}, t_j)$ получена путем обработки данных наблюдений есть функция T_{obs} на подмножестве $\Omega_0^{(j)}$ из Ω .

Пусть функция $T_{obs} \equiv T_{obs}^{(j)}$ при $t \in (t_{j-1}, t_j)$ по своему физическому смыслу есть приближение к функции поверхностной температуры на $\Omega_0^{(j)}$ при $t \in (t_{j-1}, t_j)$, т.е. к $T|_{z=0}$. Вне подмножества $\Omega_0^{(j)}$ при $t \in (t_{j-1}, t_j)$ для определенности считаем $T_{obs}^{(j)}$ тривиальной.

Пусть дополнительной неизвестной ("управлением") является функция полного потока Q на $\{\Omega_0^{(j)}\}$, тогда как на множествах $\{\Omega \setminus \Omega_0^{(j)}\}$ функция Q считается заданной, введем функционал стоимости вида:

$$J_\alpha \equiv J_\alpha(Q, \phi) = \frac{1}{2} \int_0^{\bar{t}} \int_{\Omega_0(t)} \alpha |Q - Q^{(0)}|^2 d\Omega dt + J_0(\phi) = \sum_{j=1}^J J_{\alpha, j},$$

где

$$J_{\alpha, j} = \frac{1}{2} \int_{t_{j-1}}^{t_j} \int_{\Omega_0^{(j)}} \alpha |Q - Q^{(0)}|^2 d\Omega dt + \frac{1}{2} \int_{t_{j-1}}^{t_j} \int_{\Omega_0^{(j)}} m_0^{(j)} |T - T_{obs}^{(j)}|^2 d\Omega dt$$

Здесь: $\alpha \equiv \alpha(\lambda, \theta, t)$ – функция, играющая роль регуляризатора (возможен случай, когда $\alpha(\lambda, \theta, t) = \text{const} \geq 0$) и которая может быть размерной величиной, а $Q^{(0)} \equiv Q^{(0)}(\lambda, \theta, t)$ – заданная функция (которая может быть также и тривиальной).

Задача вариационной ассимиляции (– Задача T), формулируется следующим образом: *требуется найти решение ϕ Задачи I и функцию Q на $\{\Omega_0^{(j)}\}$, такие, чтобы на них функционал J_α принимал наименьшее значение.*

Итерационный процесс

- При вычисленном $Q^{(k)}$ решаются все подзадачи из Шага 1, сопряженная система уравнений для данного шага и определяется новое приближение $Q^{(k+1)}$:

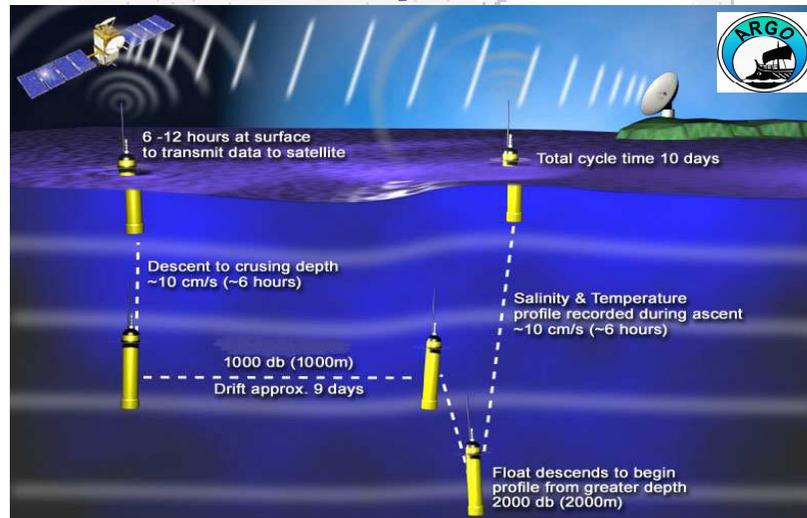
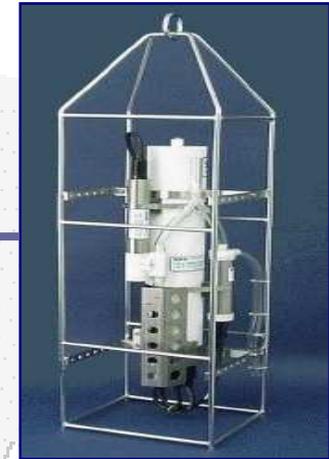
$$Q^{(k+1)} = Q^{(k)} - \gamma_k (\alpha(Q^{(k)} - Q^{(0)}) + T^*) \text{ на } \Omega_0^{(j)} \times (t_{j-1}, t_j)$$

- Доказана однозначная и плотная разрешимость всех задач на каждом подинтервале, в результате решение «4-х мерной задачи ассимиляции» сводится к решению последовательности «3-х мерных задач».
- В силу установленного выше свойства плотной разрешимости в качестве параметров $\{\gamma_k\}$ могут быть выбраны параметры, вычисляемые по формуле при $\alpha \approx +0$:

$$\gamma_k = \frac{1}{2} \frac{\int_{t_{j-1}}^{t_j} \int_{\Omega_0^{(j)}} (T - T_{obs})^2 |_{\sigma=0} d\Omega dt}{\int_{t_{j-1}}^{t_j} \int_{\Omega_0^{(j)}} (T^*)^2 |_{\sigma=0} d\Omega dt}$$

3. База данных

База данных «Мировой Океан – ИВМ РАН»



3.1. Состав базы данных

Данные на регулярных сетках

Источник	Параметр	Временной интервал осреднения	База данных
<i>In-situ океанологическая информация</i>			
Атласы Мирового океана	температура, соленость (на стандартных горизонтах)	весь ряд, сезон, месяц	WOA05, WOCE
	динамическая топография (относительно разных отсчетных горизонтов)	весь ряд, месяц	
<i>Спутниковая информация</i>			
Метеорологические спутники NOAA	температура поверхности океана	год, месяц, неделя	PODAAC
Альтиметрические измерения	средняя высота морской поверхности	различный	ГЦ РАН, PODAAC, AVISO
	динамическая топография	различный	
	аномалии уровня	неделя, 3.5 дня, сутки	

Данные, поступающие в режиме реального времени

Источник	Датчик	Параметр	Временной интервал	База данных
<i>In-situ океанологическая информация</i>				
Гидрологические станции и данные зондирования		температура, соленость	01.09.1998 – настоящее время	WOA05, GODAE
Буйковые измерения ARGO			28.07.1997 – настоящее время	CORIOLIS, GODAE
Попутные корабельные измерения		температура поверхности океана	01.09.1998 – настоящее время	GODAE
<i>Спутниковая информация</i>				
Метеорологические спутники NOAA	ИК-радиометр	температура поверхности океана	12.11.1981 – настоящее время	PODAAC, GODAE, DMSR
Геостационарные спутники			12.05.2003 – настоящее время	
Метеорологические спутники NASA	СВЧ-радиометр		03.05.2002 – настоящее время	
Альтиметрические измерения	Радиоальтиметр	аномалии уровня и динамическая топография	10.01.1993 – настоящее время	ГЦ РАН, PODAAC, AVISO

Дополнительная информация

Источник	Параметр	База данных
<i>Модели</i>		
Данные гравиметрических измерений	высота геоида	ГЦ РАН, РОДААС, AVISO
Альтиметрические измерения		
Спутниковая информация		
Данные уровнемерных постов	высоты приливов	
Альтиметрические измерения		

Объем данных на настоящий момент

Источник	Объем (Гб)
Данные на регулярных сетках	~ 80
Данные поступающие в режиме реального времени	~ 390
Дополнительная информация	~ 30

3.2. Структура блока подготовки данных





4. Требования к ИВС-Т2

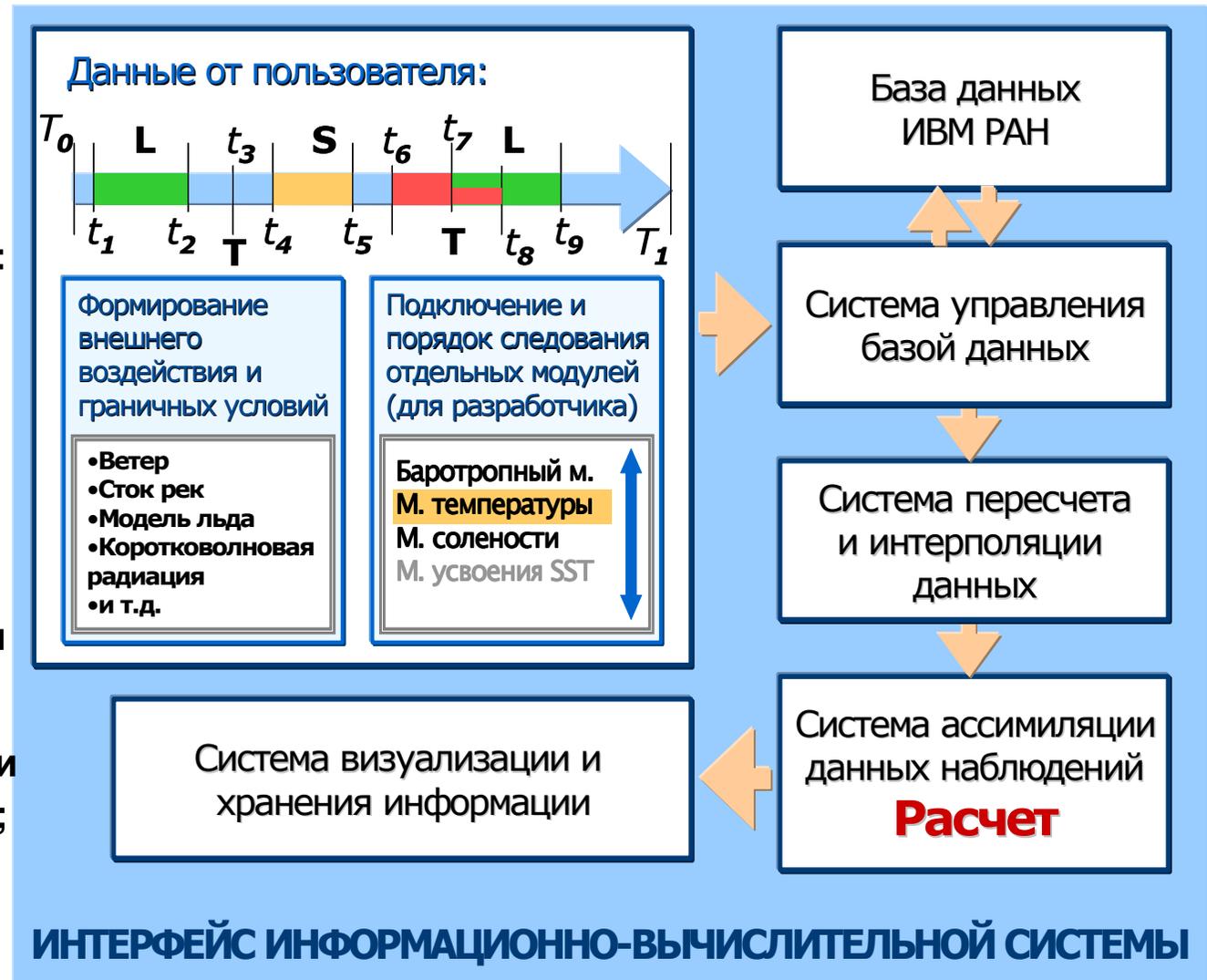
При разработке структуры ИВС-Т2 учитывались следующие требования:

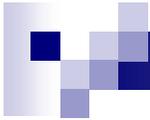
1. Модульность ИВС-Т2.
2. Наличие собственной базы данных наблюдений.
3. Возможность хранения и визуализации результатов.
4. Унифицированность обмена данными между подсистемами.
5. Техническое описание ИВС-Т2, согласованное с модульной структурой ИВС-Т2.
6. Возможность простого изменения отдельных модулей (блоков).
7. Возможность простого добавления новых модулей (блоков).
8. Возможность постоянной поддержки технического описания ИВС-Т2.
9. Удобный для пользователя графический интерфейс, позволяющий наиболее полно определять ход работы ИВС-Т2.

5. Структура ИВС-T2

Согласно этим требованиям была разработана структура ИВС-T2, включающая следующие подсистемы:

1. Система управления базой данных;
2. Система пересчета и интерполяции данных наблюдений;
3. Система ассимиляции данных наблюдений;
4. Система визуализации и хранения информации;
5. Интерфейс (система взаимодействия).



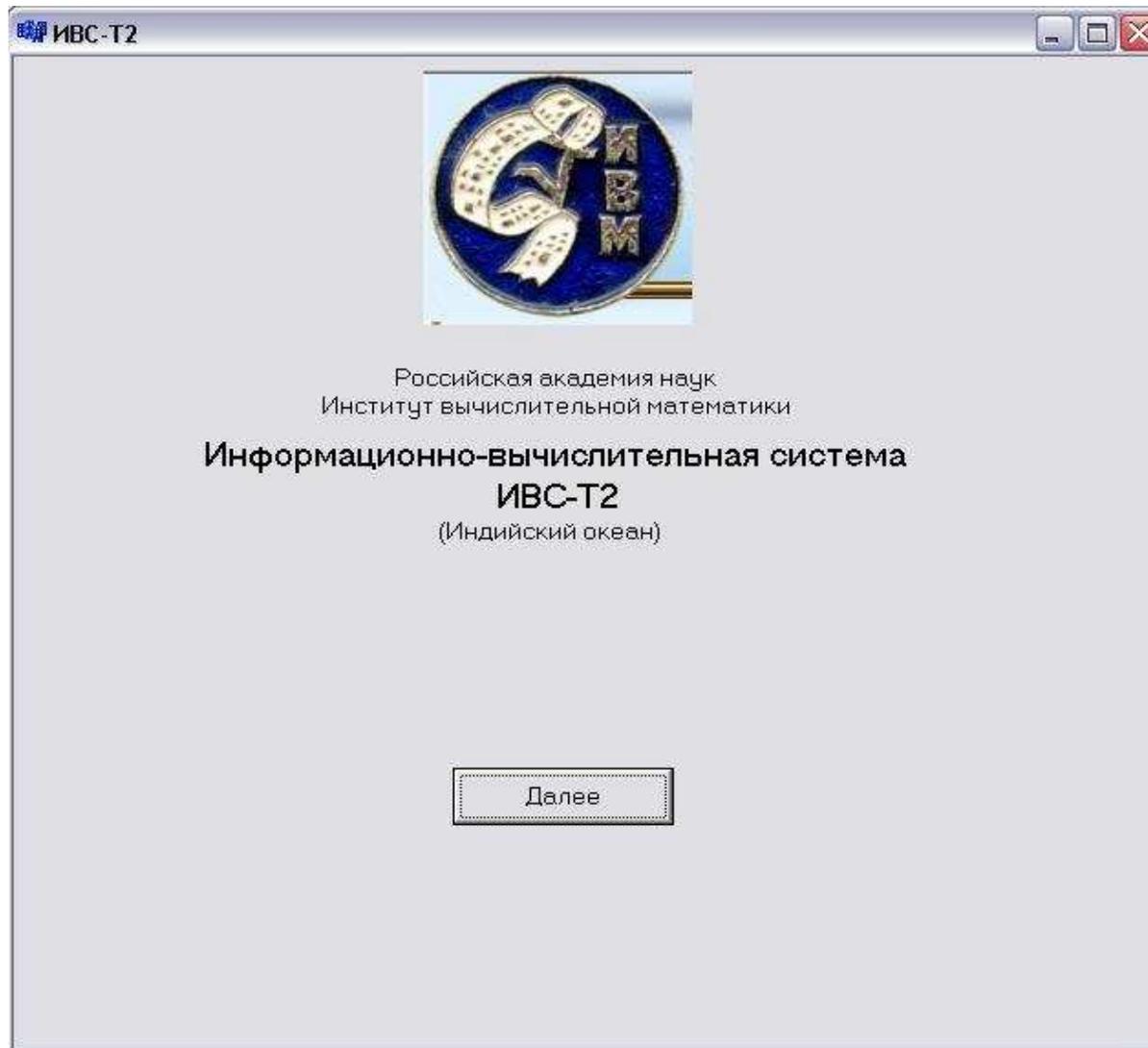


6. Интерфейс ИВС-Т2

- Для ИВС-Т2 был создан специализированный комплекс программ – Интерфейс ИВС-Т2, который **обеспечивает взаимодействие подсистем ИВС.**
- Интерфейс ИВС возможно реализовать в нескольких вариантах, как основное различие можно выделить две отличающиеся друг от друга операционные системы, на которых реализуется ИВС – это системы Windows и Unix-type системы. На каждой из этих платформ систему можно реализовать в нескольких вариантах.
- В настоящее время Тестовая версия ИВС-Т2 реализована для работы в ОС Windows на персональном компьютере.

Этапы запуска ИВС-Т2

После входа в ИВС-Т2 появляется приветственное окно:



Дополнительная работа с ИВС-T2 осуществляется с помощью двух окон: «Основного окна» и окна блока «Визуализации данных».

The screenshot shows the main window of the IBC-T2 software. The window title is "ИВС-T2". The menu bar includes "Файл", "Операции", "Сервис", and "Помощь".

Шаг 1
Введите дату начала и окончания расчета по шаблону (час/день/месяц/год):
с 00 01 Январь 2000 по 00 03 Январь 2000
[Редактировать]

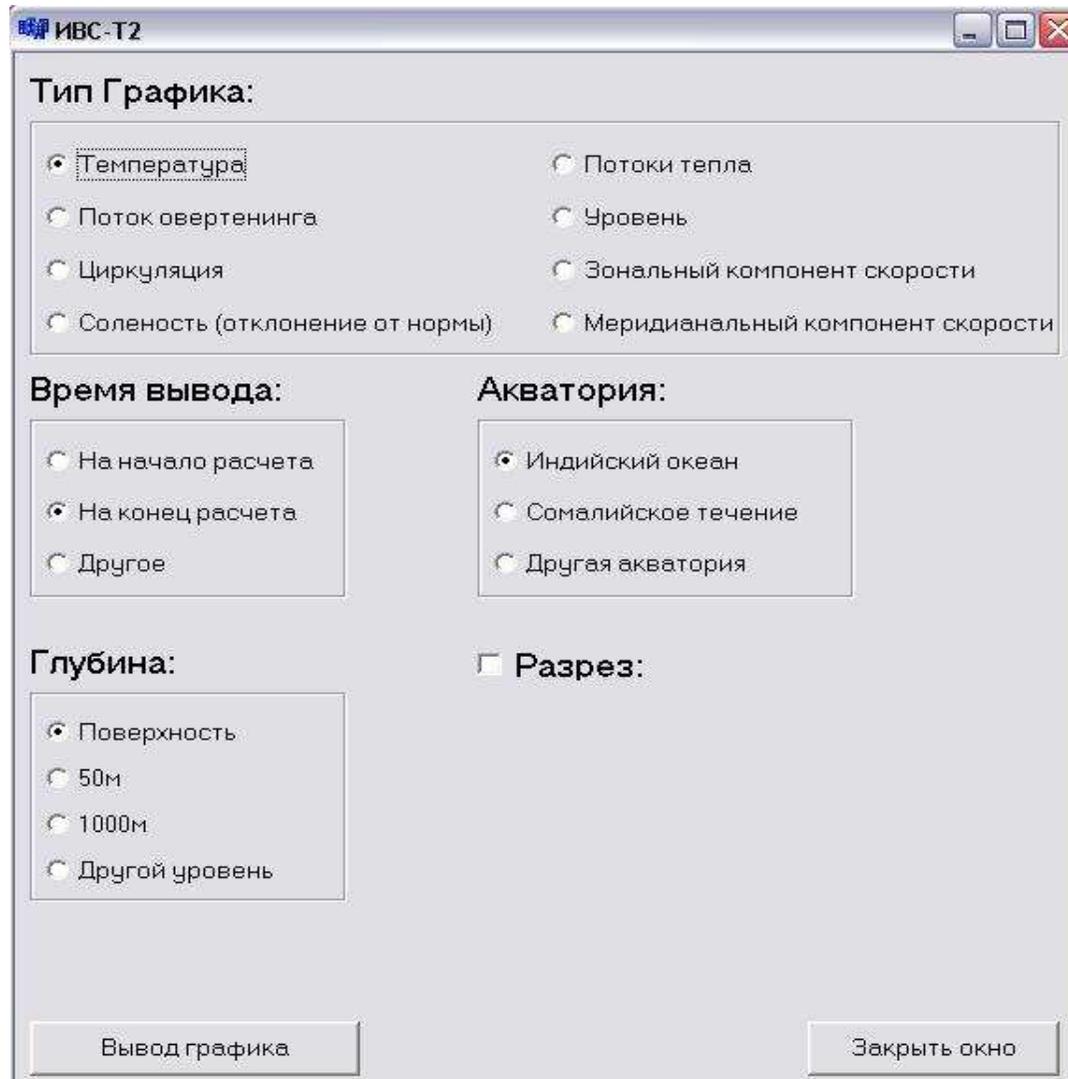
Шаг 2
Выберите начальное состояние:
"нулевое" начальное состояние [Скопировать]

Шаг 3
Задайте временные интервалы усвоения поверхностной температуры по шаблону (час/день/месяц/год):
[Карта данных] [Без усвоения]
Период 1:
с 00 1 Январь 2000 по Час Число Месяц Год + -
[Задать]

Запустить расчет
[Запустить] [Вывод результатов] [Закончить работу]

Приблизительное время проведения расчета: 3 мин.

Основное окно ИВС-T2



Внешний вид окна «Визуализации данных»

Интерфейс «Карты данных».

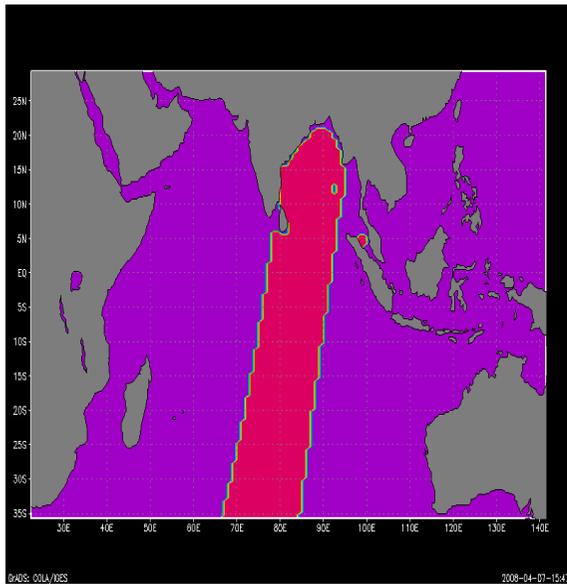
ИВС-Т2

Карта наличия данных наблюдений

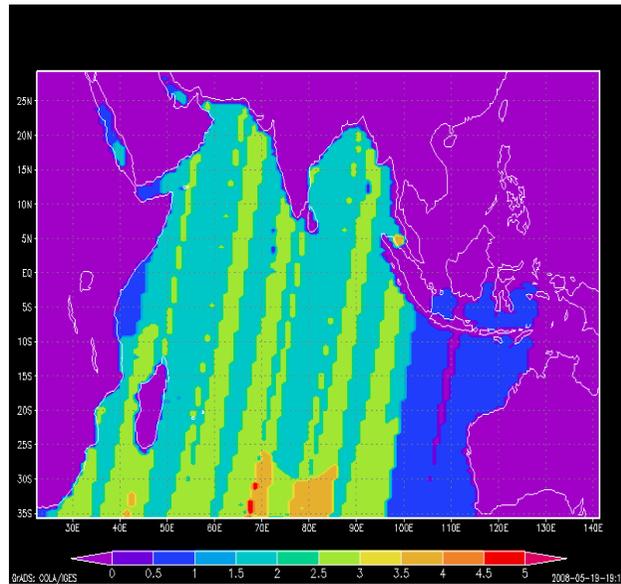
На конкретный час За промежуток

Год: 2000
Месяц: 01
День: 01
Час: 01

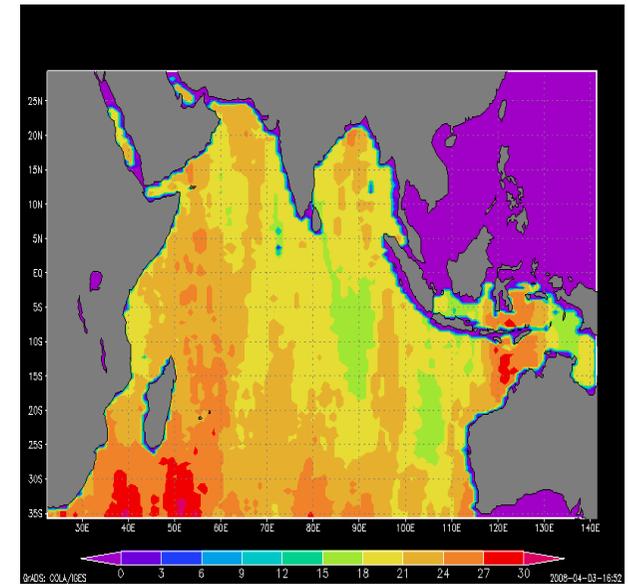
Вывести карту Закрыть окно



Данные за час



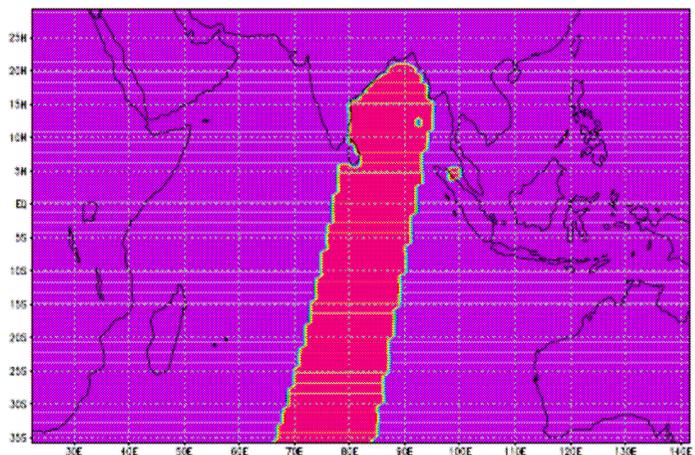
Количество данных за 8 часов



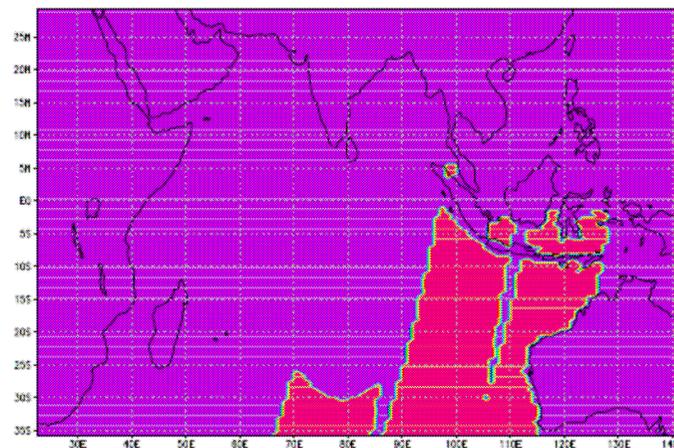
Количество данных за 5 суток **26**



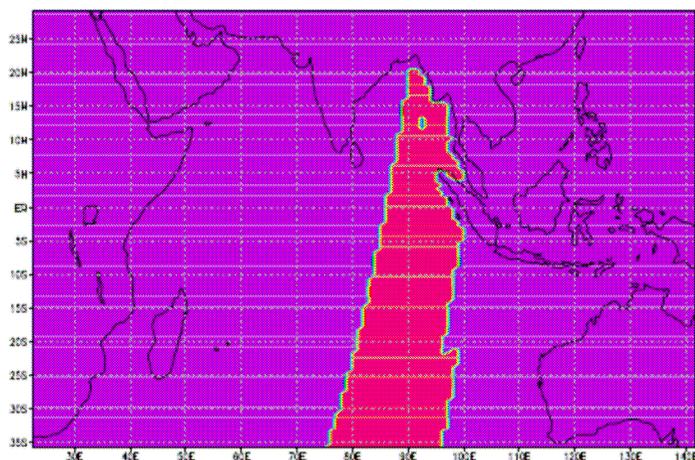
Данные наблюдений в 4 последовательных момента времени



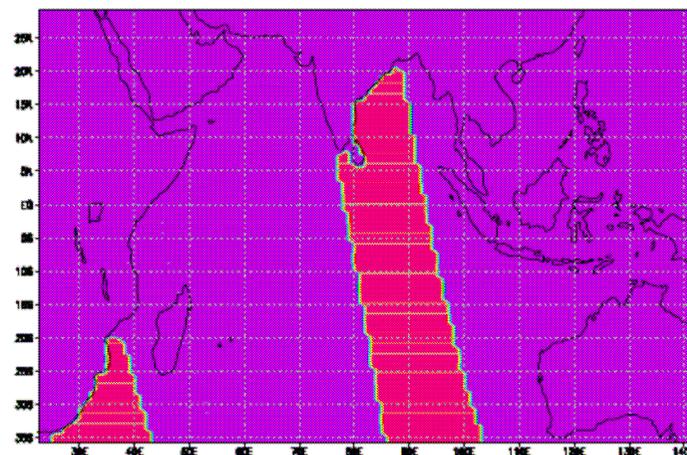
1



2

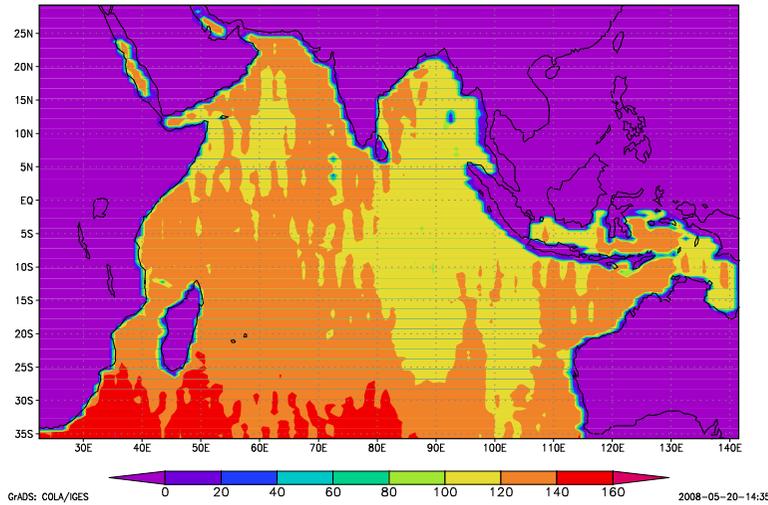


3

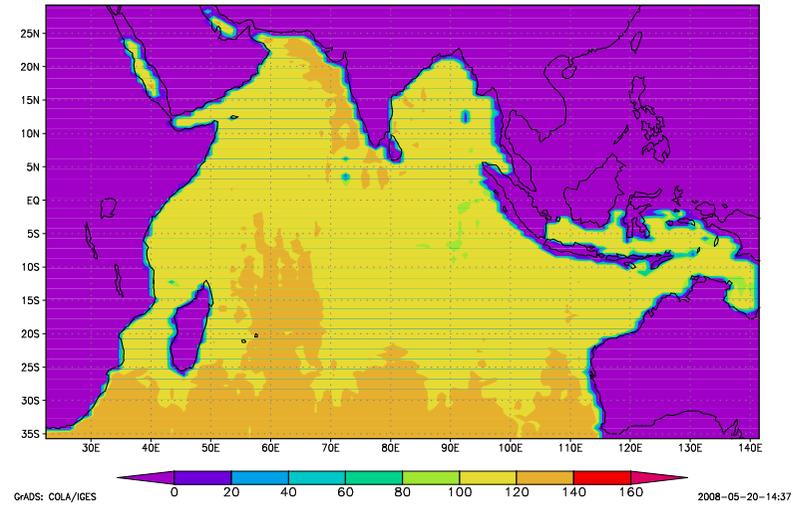


4

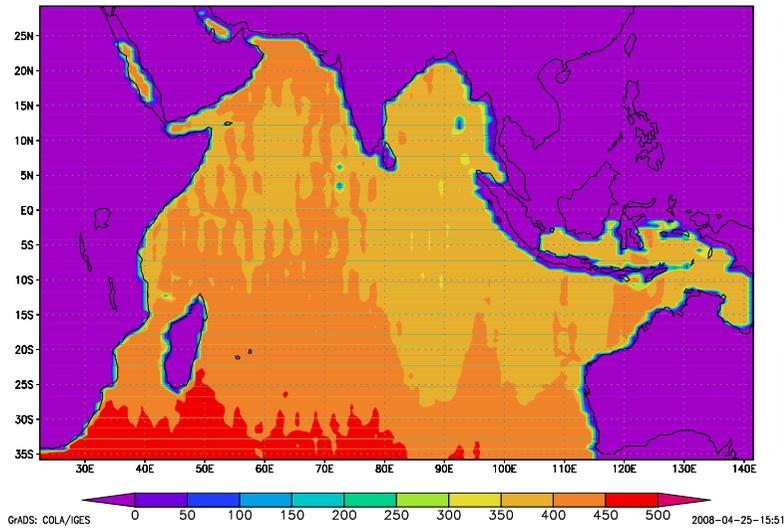
Неравномерность распределения данных по месяцам



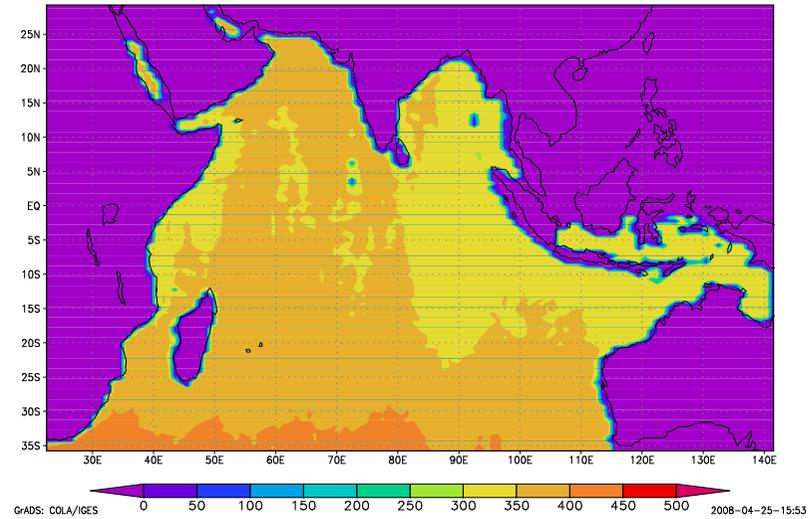
Количество данные за январь 2000 г.



Количество данные за май 2000 г.



Количество данные за Январь-Март 2000 г.



Количество данные за Апрель-Май 2000 г.

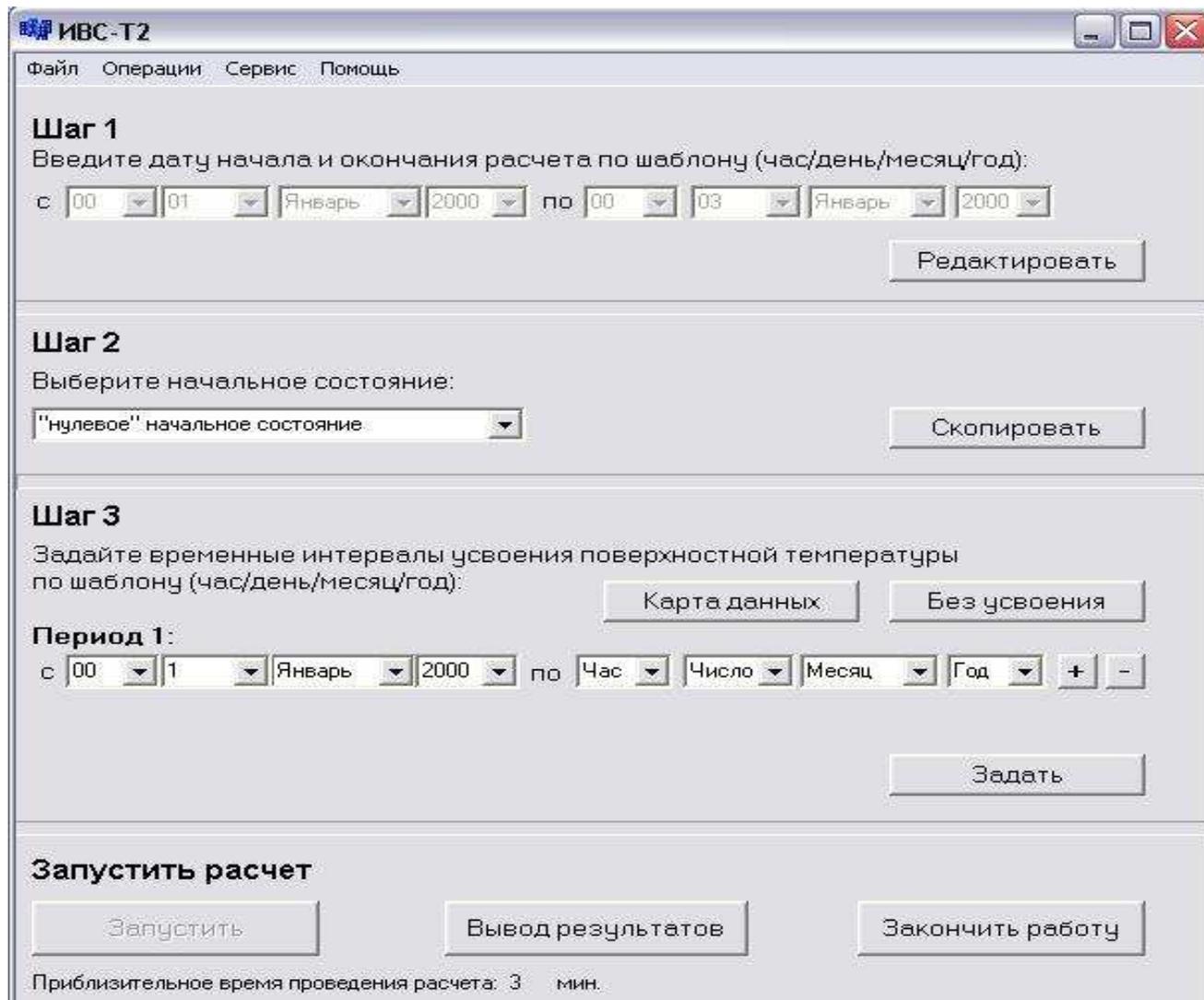


7. Примеры расчетов гидрофизических полей Индийского океана с использованием ИВС-Т2

Приведем примеры применения ИВС-Т2 для расчёта гидрофизических полей Индийского океана и их анализа. При этом мы всегда будем применять процедуру ассимиляции T_{obs} . (Если в основном окне мы выберем опцию «Без усвоения», то ИВС-Т1 осуществляет лишь «обычный» расчёт по прямой модели, т.е. осуществляется работа Подсистемы 1.)

Пример 1. Пусть нас интересуют основные характеристики гидрофизических полей Индийского океана на 01.02.2000 с ассимиляцией с 03 часа 01.01.2000 по 00 час 01.02.2000. Тогда после входа в программу ИВС-Т2 мы переходим от приветственного окна к основному и выполняем Шаг 1-3, задавая параметры расчёта согласно нашим требованиям. После ввода необходимых параметров осуществляем запуск системы (кнопка «Запустить»). При этом на основном окне появляется информация об ориентировочной длительности проведения расчёта (в данном примере это ~32 мин.)

После окончания расчёта мы продолжаем работать с основным окном и для просмотра и анализа данных, полученных в результате работы ИВС-Т2, нажимаем кнопку «Вывод результатов». На появившемся окне «Тип графика», мы последовательно выбираем тип интересующих нас гидрофизических полей Индийского океана, а также способ и характеристики его отображения, и нажимаем кнопку «Вывод графика».



Пример 1. Основное окно IBC-T2

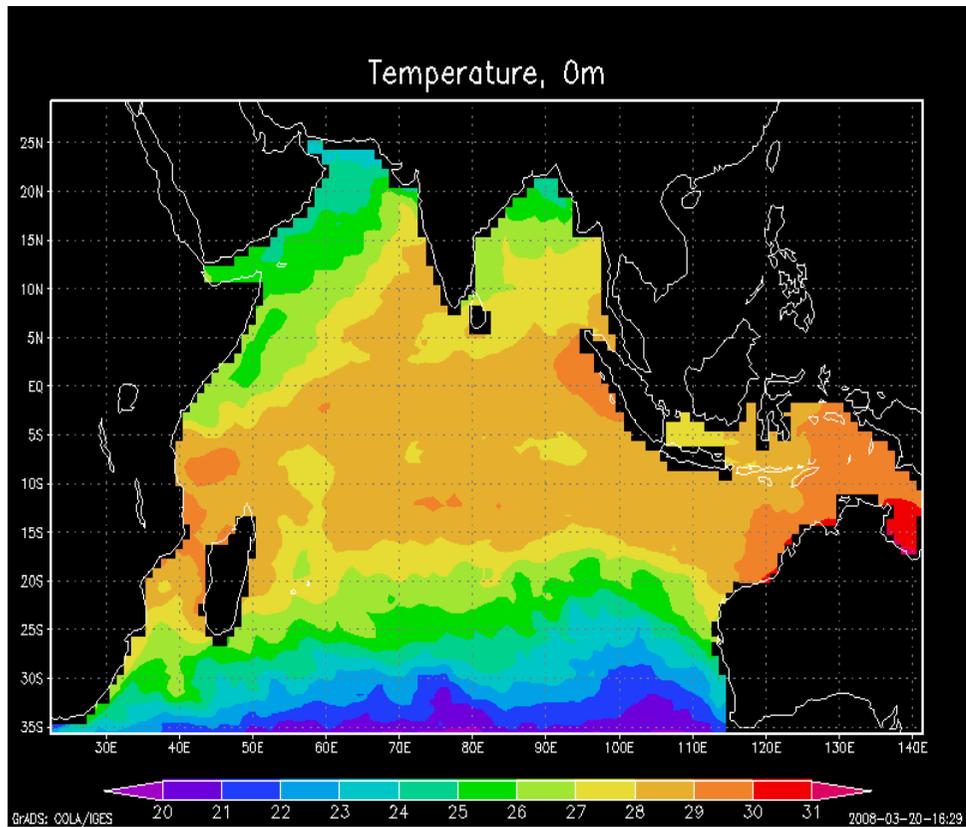
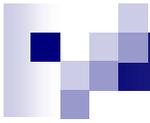


Для отображения результатов можно выбирать любой момент времени (с интервалом в час) между началом и окончанием заданного периода расчёта. Для примера рассмотрим основные характеристики гидрофизических полей Индийского океана, дату окончания периода расчёта – 00 час 01.02.2000.

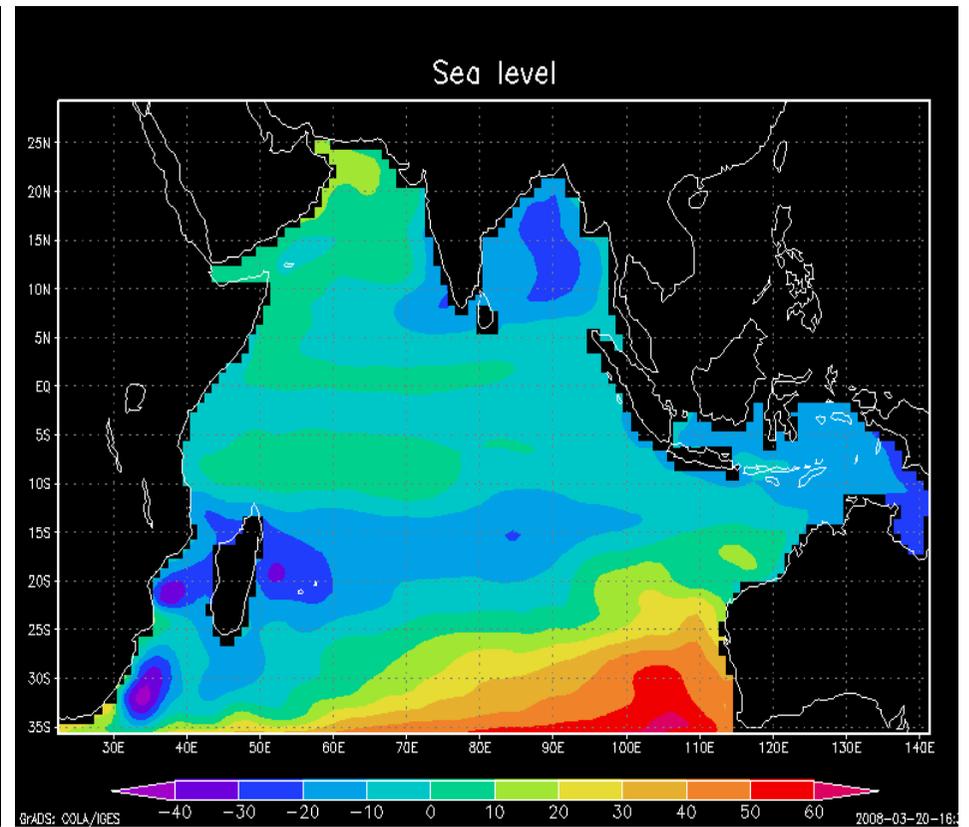
Пусть сначала нас интересует поверхностная температура и отклонение уровня океана. После ввода соответствующих данных в окне «Тип графика» мы получим два рисунка

Если нас затем интересует общая циркуляция вод на поверхности океана и поле скоростей Сомалийского течения на поверхности и глубине 1000м, то вводя соответствующие параметры в окне «Тип графика» мы получаем изображения задаваемых характеристик.

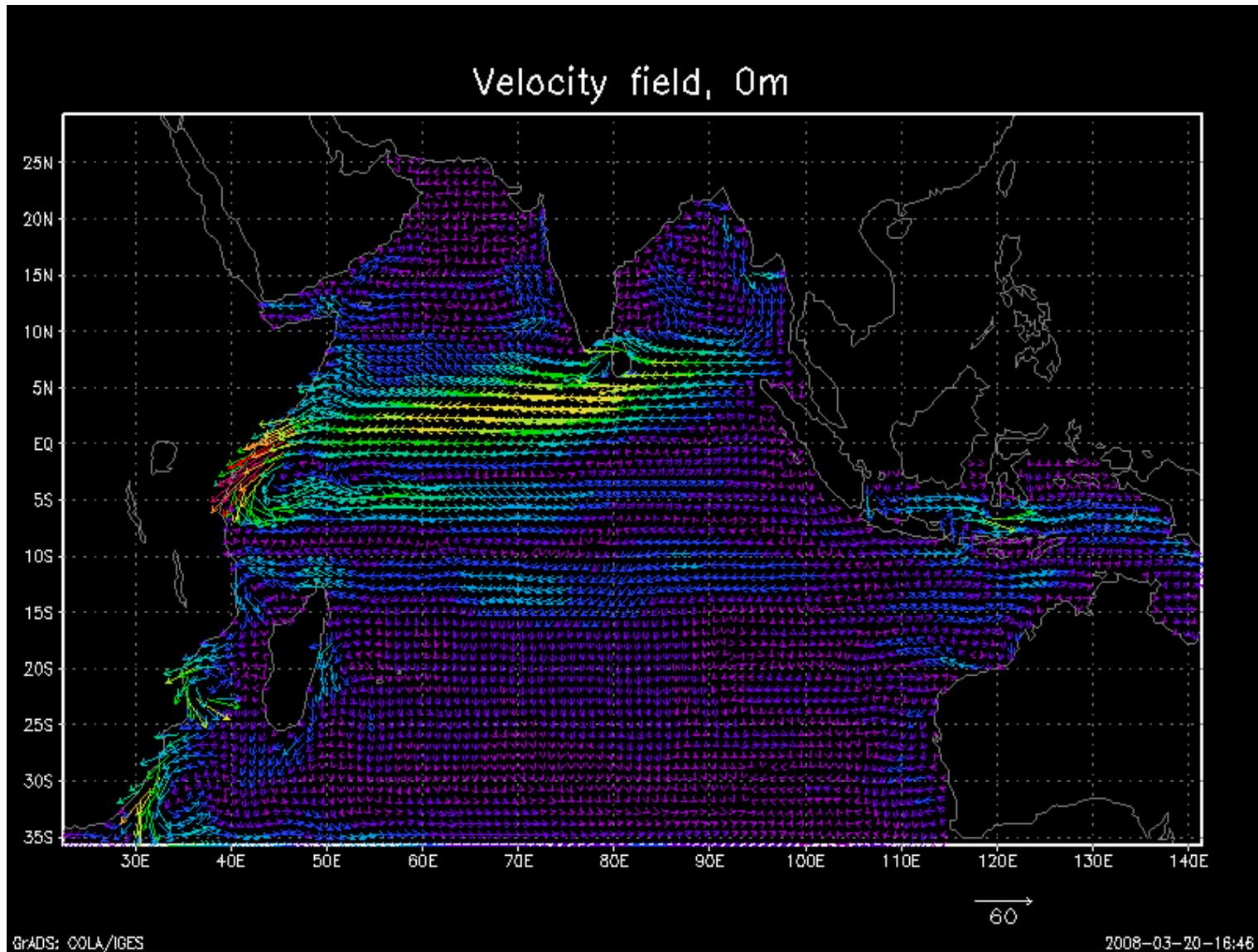
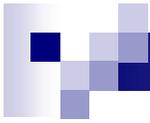
При требовании показать на поверхности океана в Бенгальском заливе температуры, солёности, отклонения уровня и теплового потока, поступая аналогичным образом, мы получаем дополнительно 4 изображения.



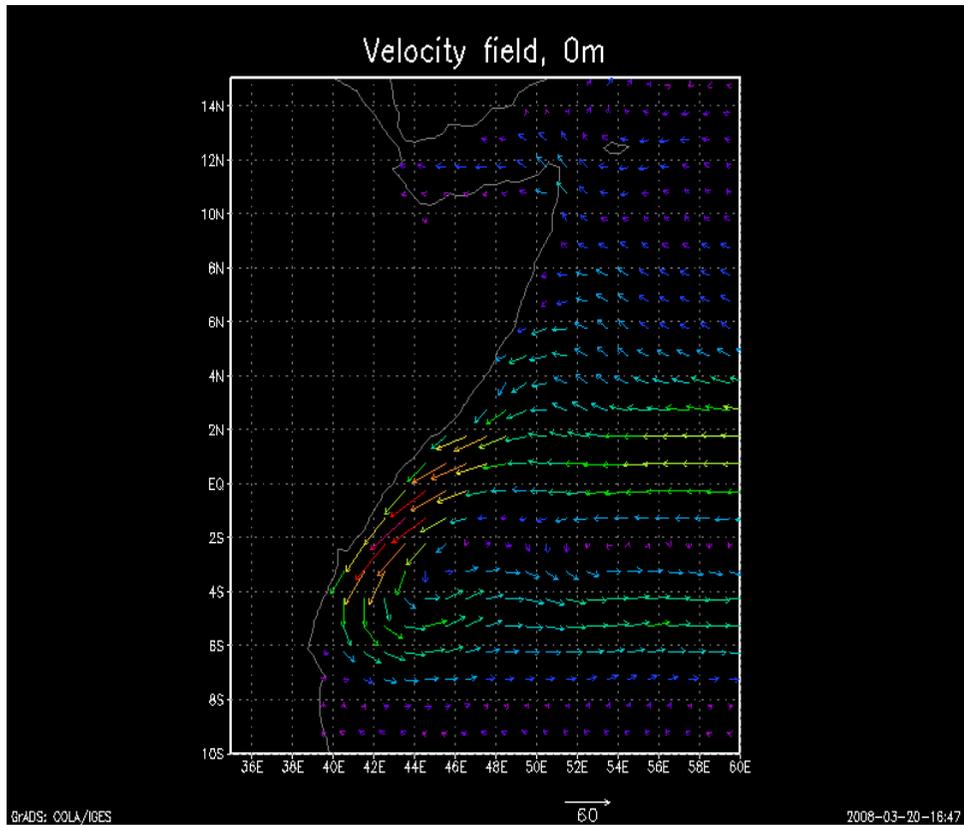
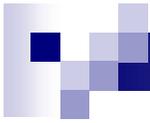
а) Температура на поверхности



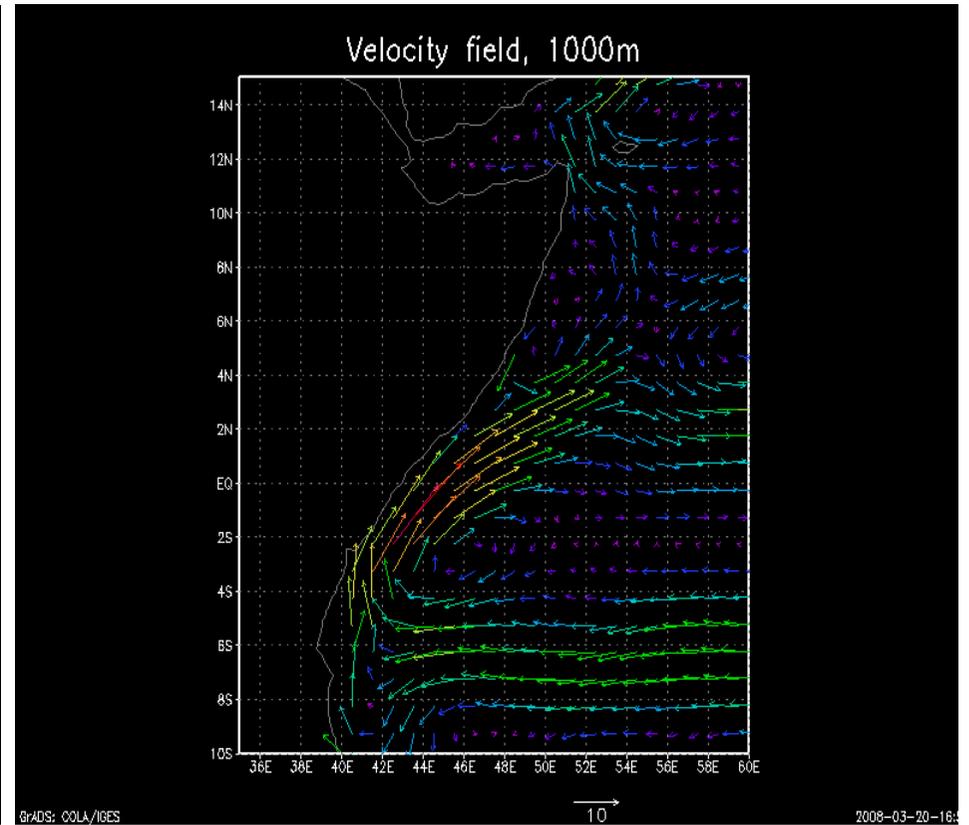
б) Отклонение уровня



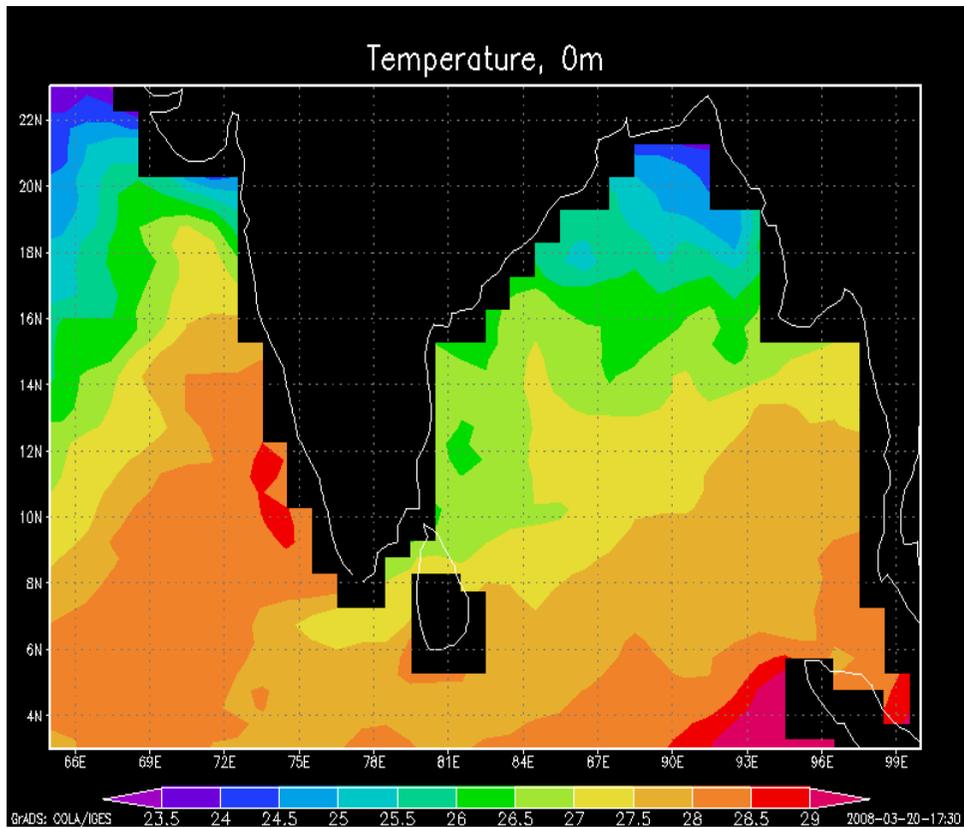
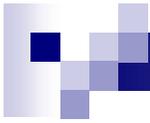
Циркуляция вод на поверхности



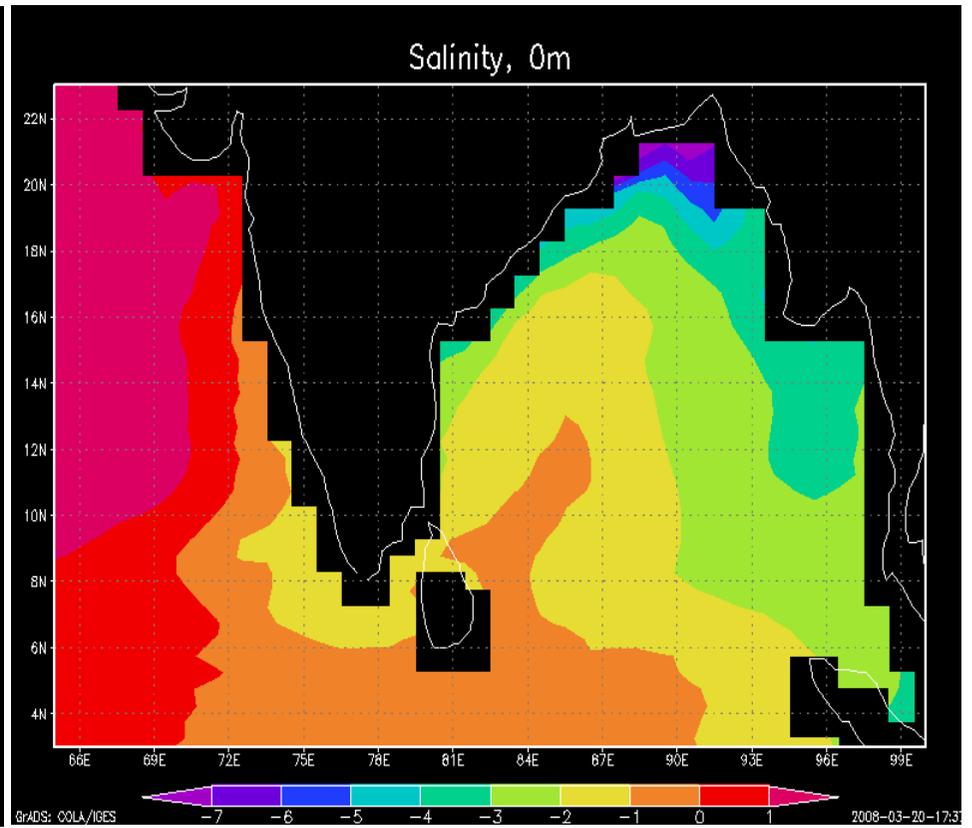
а) Сомалийское течение на поверхности



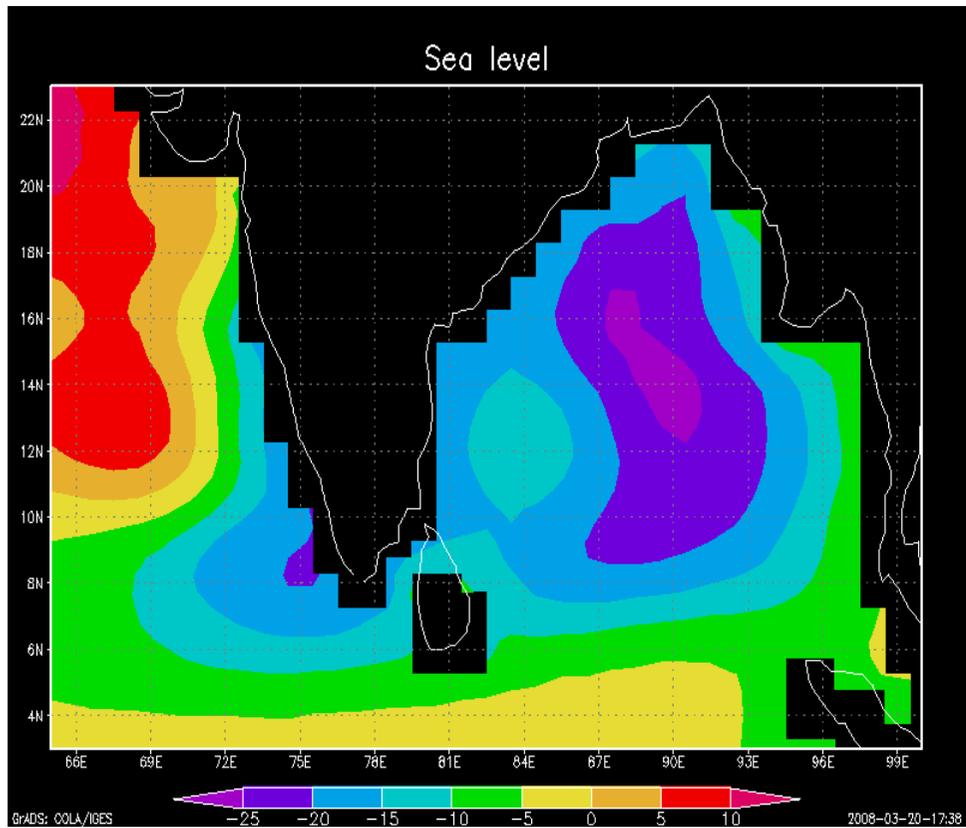
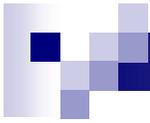
б) Сомалийское течение на глубине 1000 м



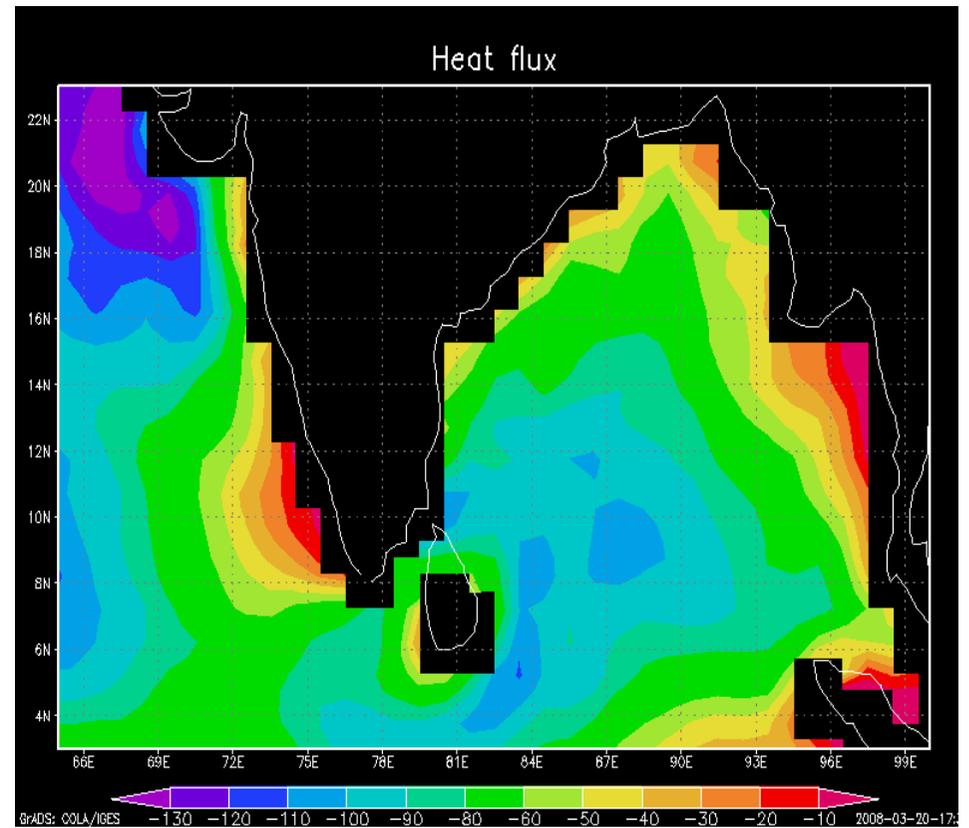
а) Температура поверхности
в Бенгальском заливе



б) Соленость (отклонение от нормы)
в Бенгальском заливе

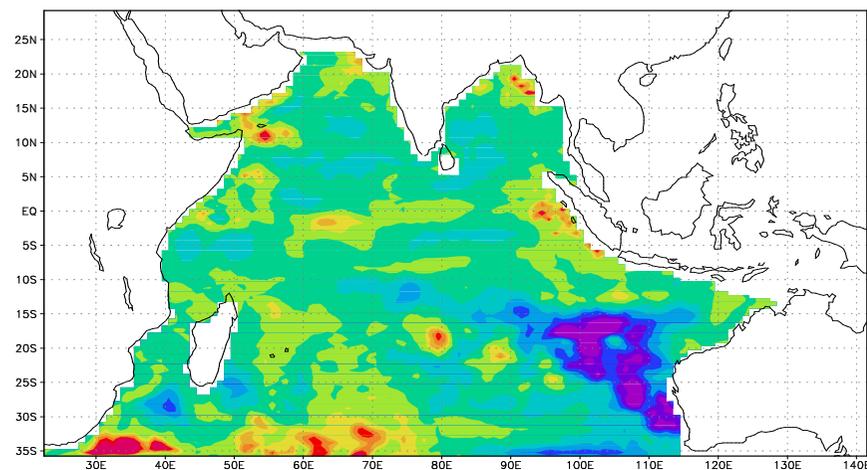


а) Отклонение уровня в Бенгальском заливе



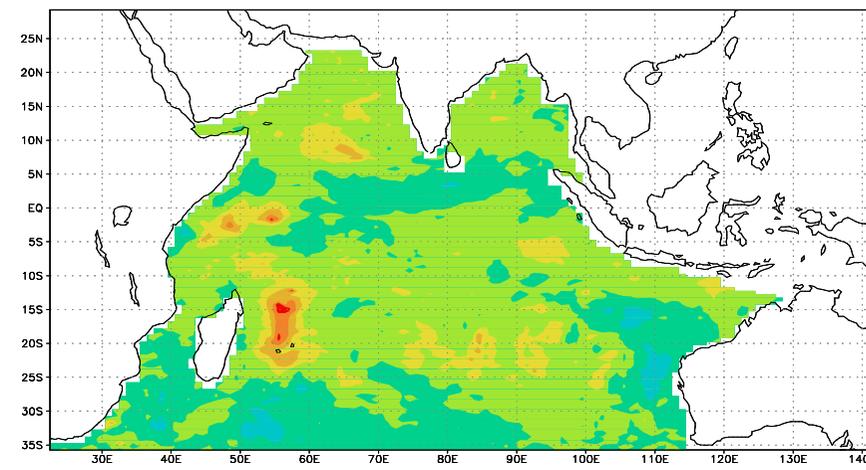
б) Поток тепла в Бенгальском заливе

Сравнение результатов работы ИВС-Т1 с данными наблюдений. $T_{ИВС-Т1} - T_{obs}$



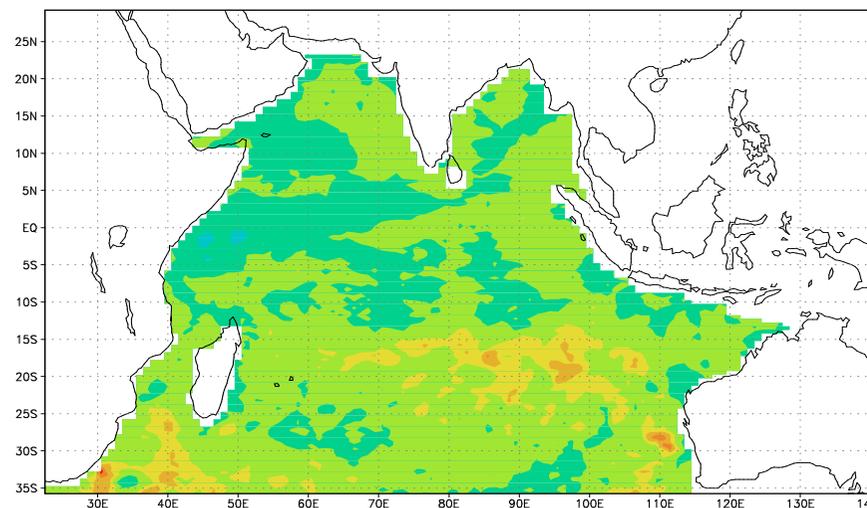
GrADS: COLA/IGES -0.2 -0.16 -0.12 -0.08 -0.04 0 0.04 0.08 0.12 0.16 0.2 2008-05-26-13:23

12 часов



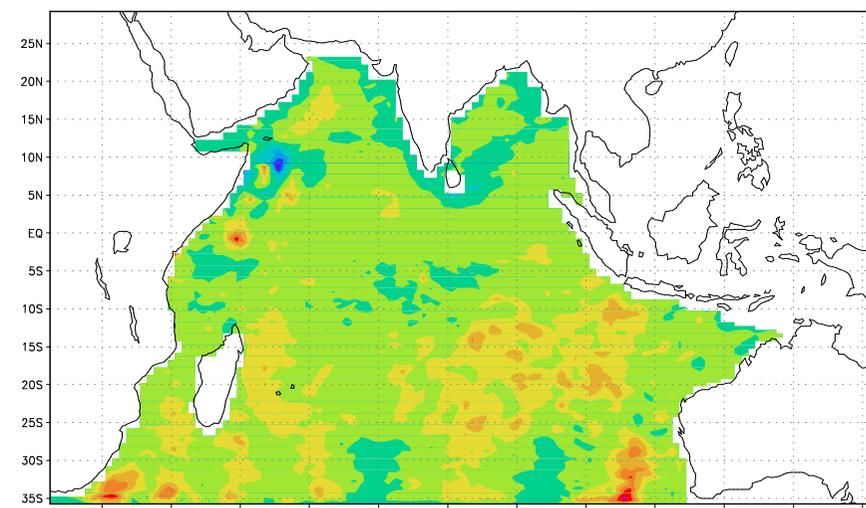
GrADS: COLA/IGES -0.2 -0.16 -0.12 -0.08 -0.04 0 0.04 0.08 0.12 0.16 0.2 2008-05-23-12:53

1 месяц



GrADS: COLA/IGES -0.2 -0.16 -0.12 -0.08 -0.04 0 0.04 0.08 0.12 0.16 0.2 2008-05-23-12:56

3 месяца

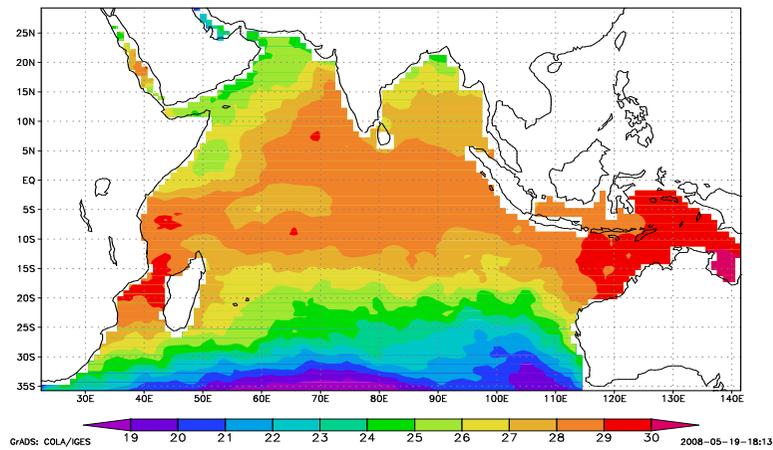


GrADS: COLA/IGES -0.2 -0.16 -0.12 -0.08 -0.04 0 0.04 0.08 0.12 0.16 0.2 2008-05-23-12:56

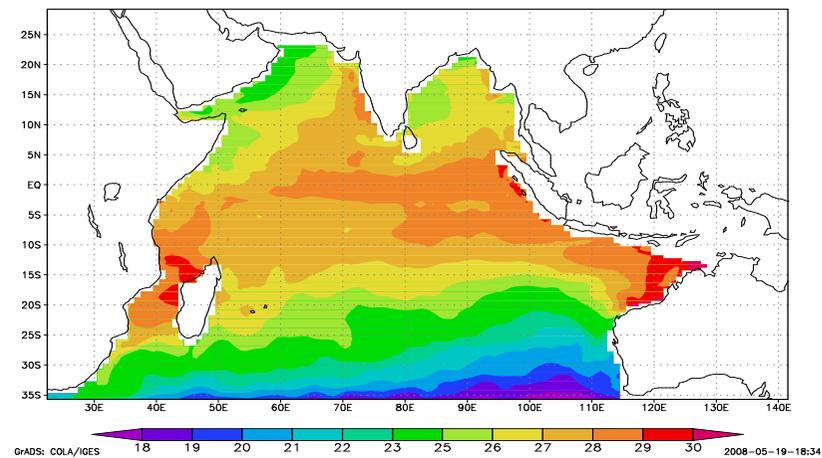
6 месяцев



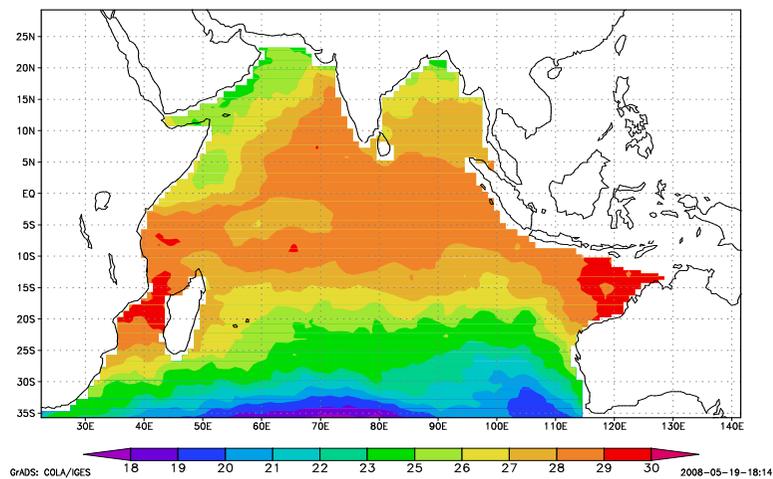
Сравнение результатов работы ИВС-T1 и ИВС-T2



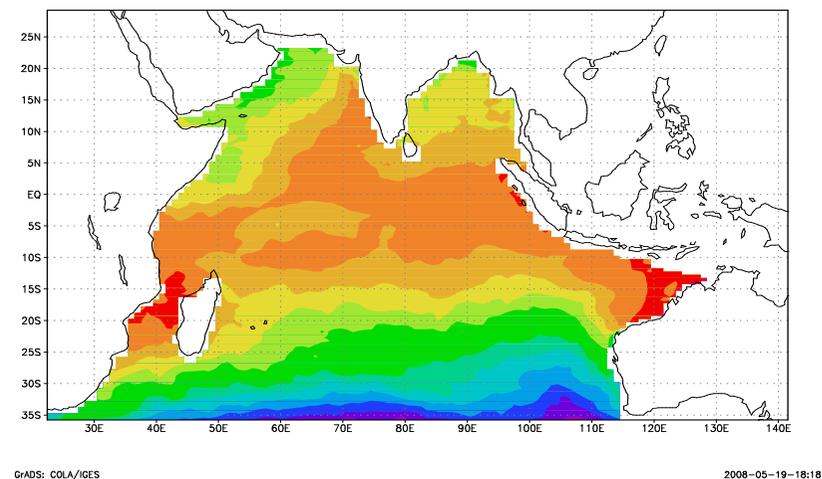
Данные наблюдений



Результаты расчета по модели



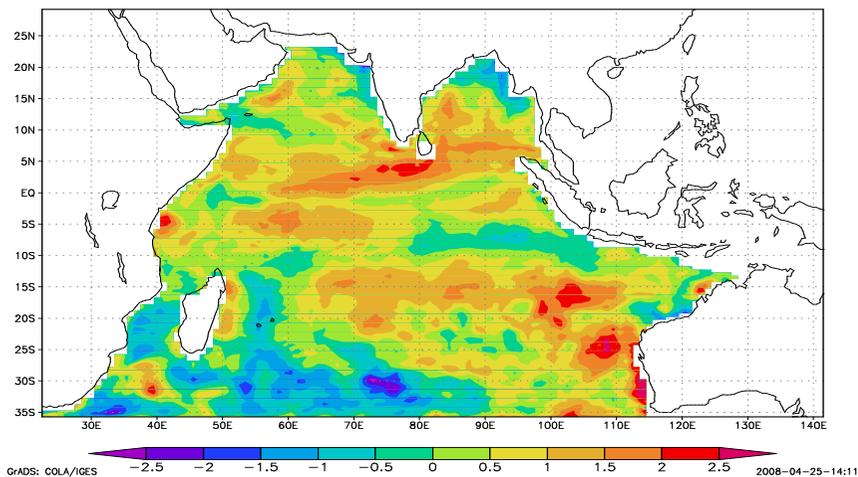
ИВС-T1



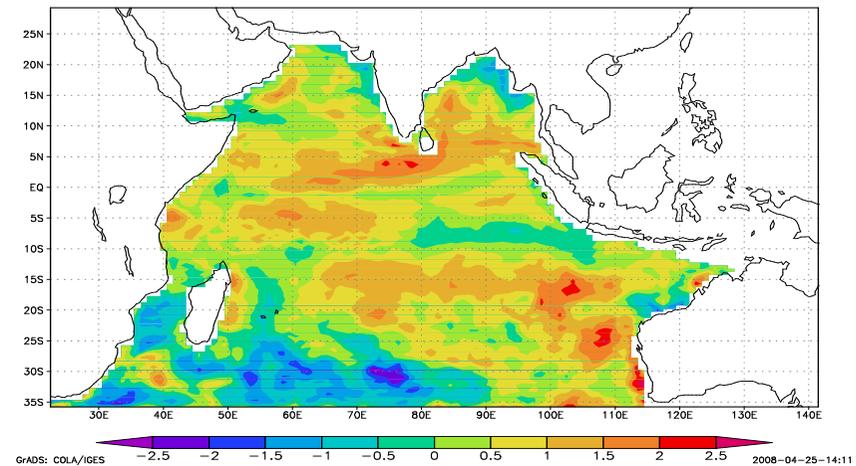
ИВС-T2

Расчет на 12 часов

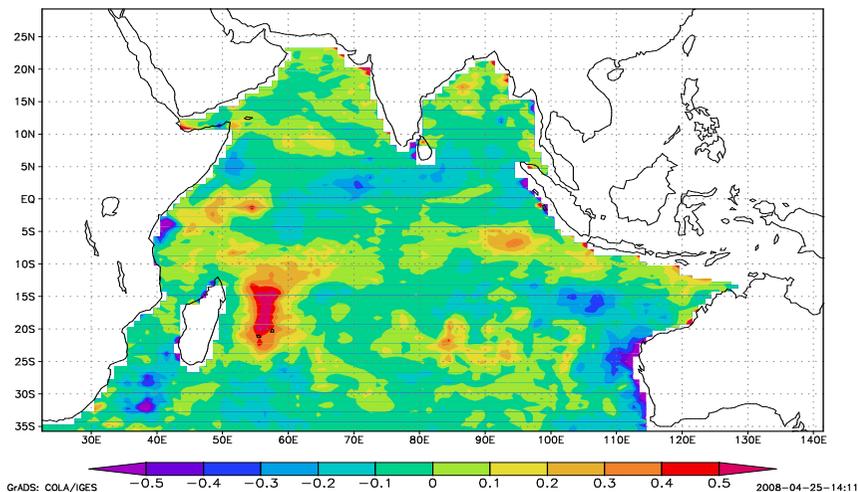
Сравнение результатов работы ИВС-T1 и ИВС-T2. Расчет на 1 месяц



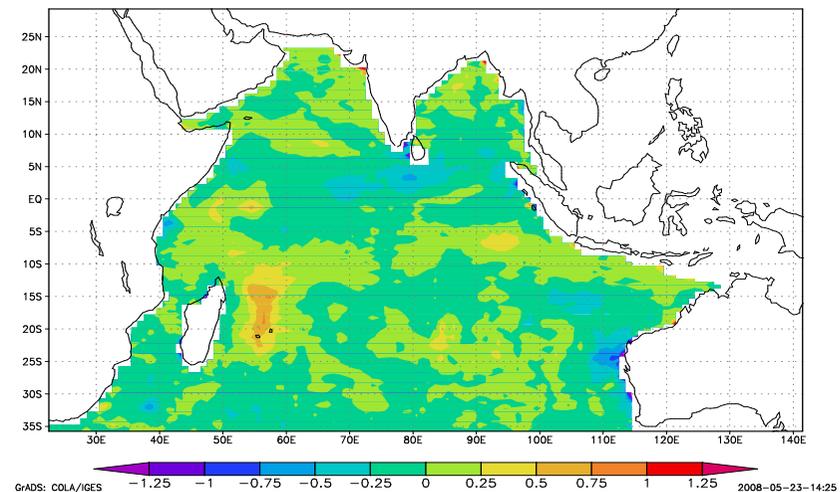
$$T_{\text{ИВС-T1}} - T_{\text{model}}$$



$$T_{\text{ИВС-T2}} - T_{\text{model}}$$

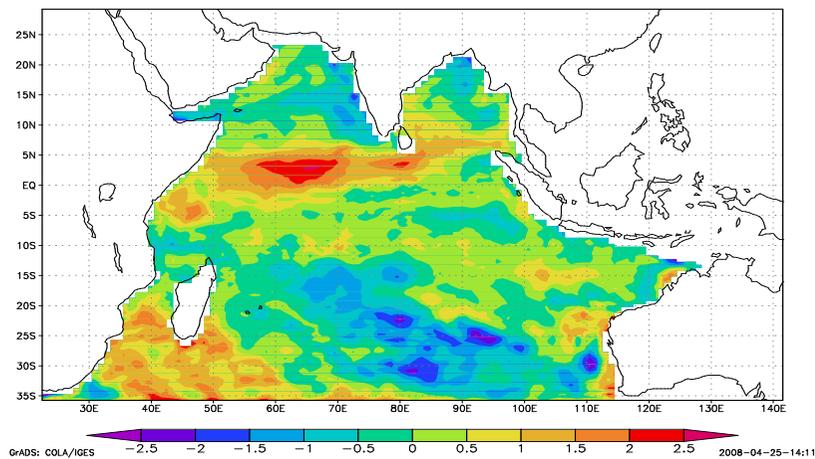


$$T_{\text{ИВС-T1}} - T_{\text{ИВС-T2}}$$

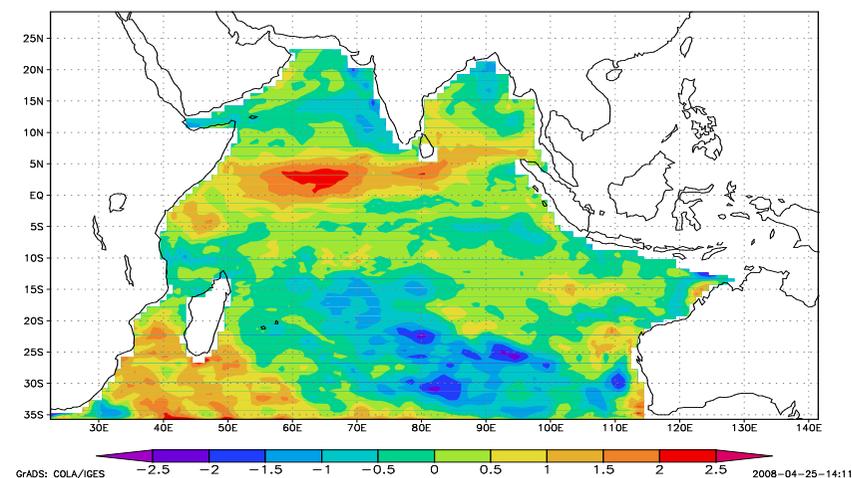


$$T_{\text{ИВС-T2}} - T_{\text{OBS}}$$

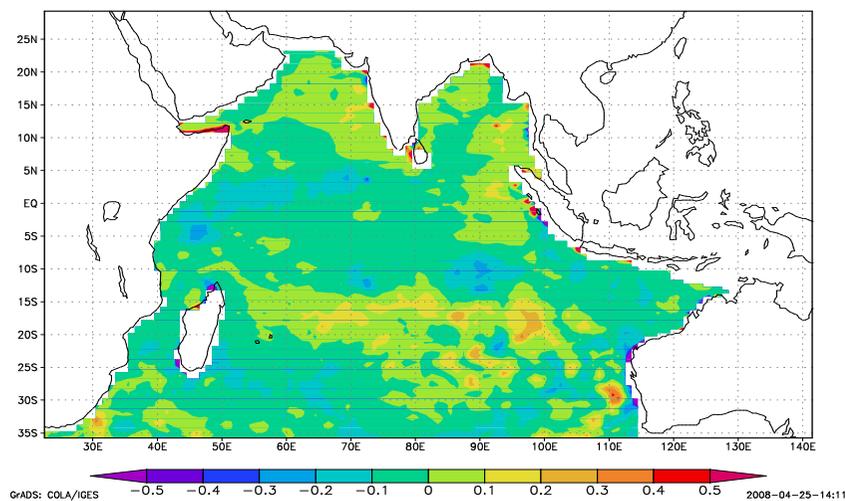
Сравнение результатов работы ИВС-Т1 и ИВС-Т2. Расчет на 3 месяца



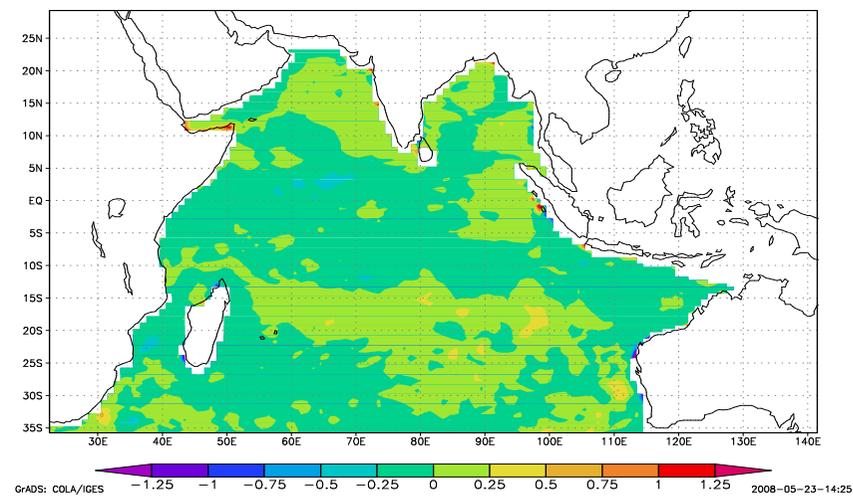
$$T_{\text{ИВС-Т1}} - T_{\text{model}}$$



$$T_{\text{ИВС-Т2}} - T_{\text{model}}$$

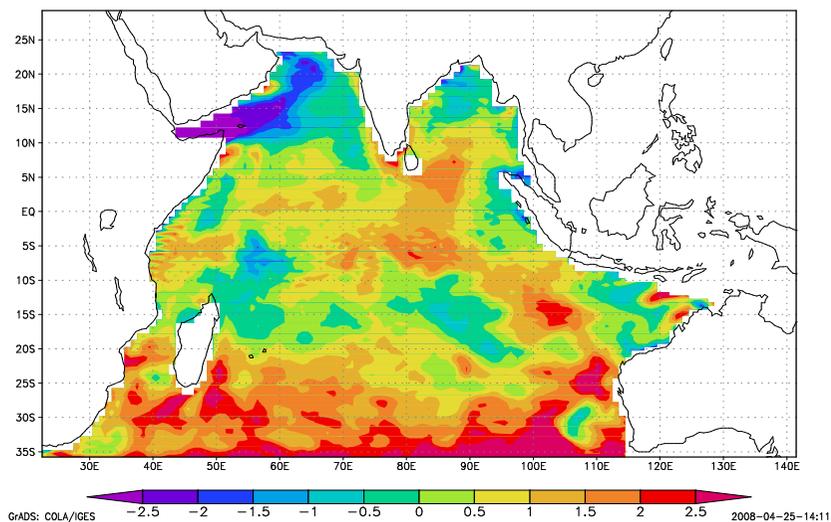


$$T_{\text{ИВС-Т1}} - T_{\text{ИВС-Т2}}$$

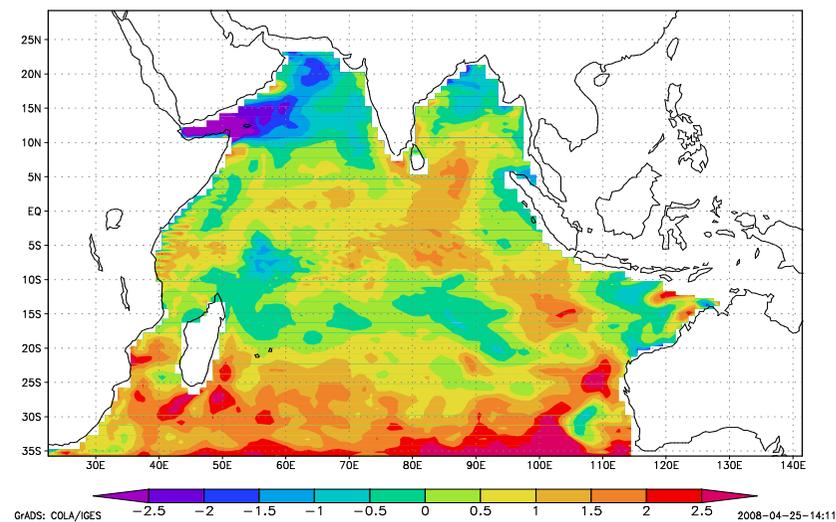


$$T_{\text{ИВС-Т2}} - T_{\text{OBS}}$$

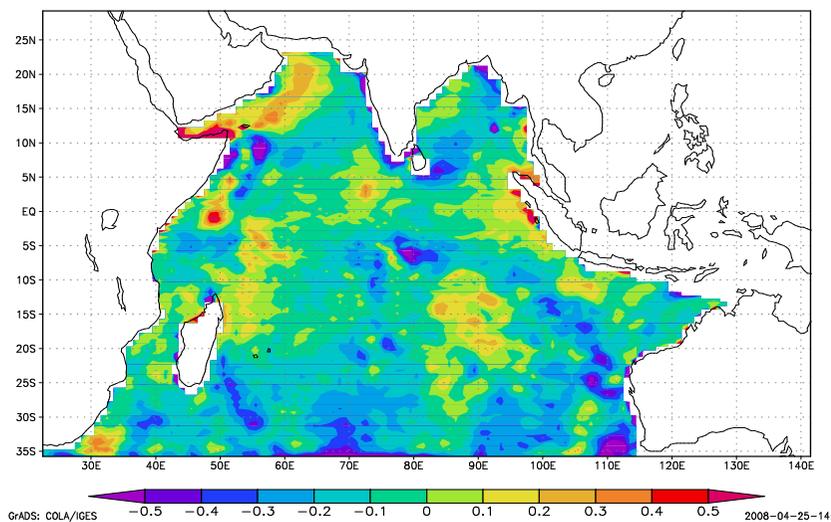
Сравнение результатов работы ИВС-Т1 и ИВС-Т2. Расчет на 6 месяцев



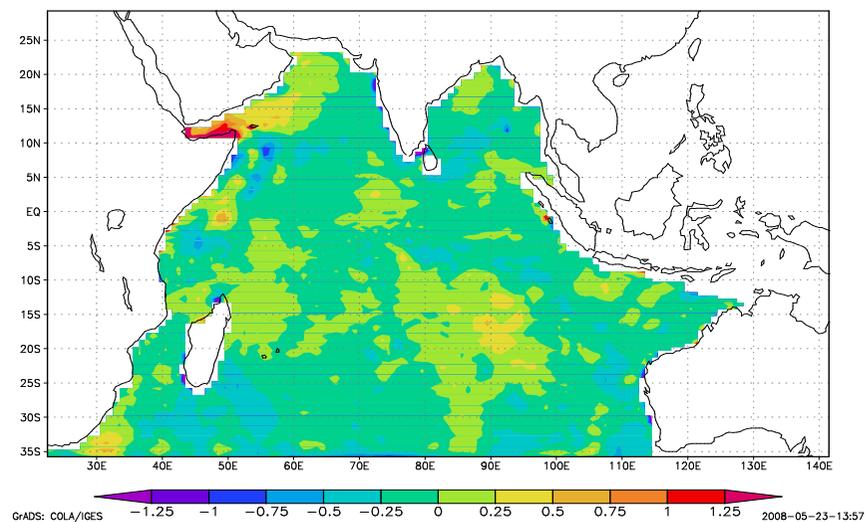
$$T_{\text{ИВС-Т1}} - T_{\text{model}}$$



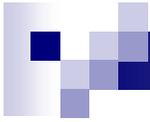
$$T_{\text{ИВС-Т2}} - T_{\text{model}}$$



$$T_{\text{ИВС-Т1}} - T_{\text{ИВС-Т2}}$$

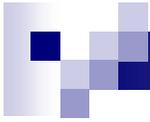


$$T_{\text{ИВС-Т2}} - T_{\text{OBS}}$$



8. Заключение и перспективы

- Разработаны теоретические основы и созданы Информационно-вычислительные системы вариационной ассимиляции данных измерений, предназначенные для анализа и решения сложных обратных задач и задач управления для нелинейных математических моделей геофизической гидродинамики, в которых помимо функций, описывающих состояние системы, «дополнительными» неизвестными могут быть функции начальных состояний, граничных условий и источников (если они известны с недостаточной точностью).

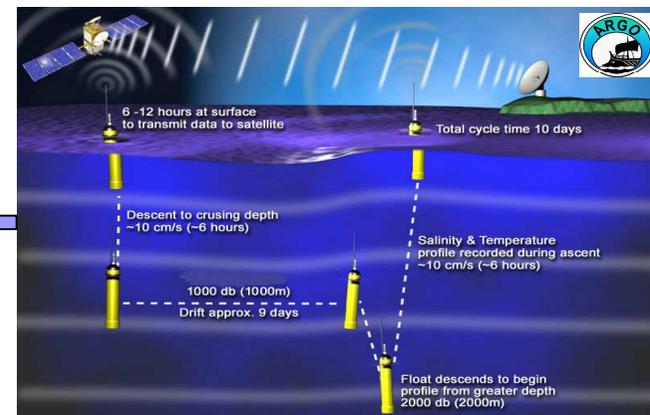


● Разработки, полученные в ходе создания ИВС-Т2, можно использовать для реализации задач мониторинга и прогнозирования для разных акваторий Мирового океана. Свойства первоначального аналога базовой информационно-вычислительной системы, представленной в отчете, уже на данном этапе позволяют решать комплекс задач, представляющих интерес для целого ряда служб и министерств, таких как МПР России, Гидрометцентр России, ММФ, ВМФ, МЧС, а также для разработки оперативных специализированных ИВС в службах и ведомствах.

◆ Результаты проекта позволяют предложить в качестве развития работ по проекту следующие исследования:

◆ Разработка экспериментальных образцов Информационно-вычислительных систем вариационной ассимиляции данных с целью последующего их применения для решения прикладных задач и внедрения в соответствующие организации и ведомства.

◆ Внедрение ИВС-TSL и систем оперативной доставки данных на корабли:



◆ Обобщение полученных результатов на задачи вариационного усвоения данных для моделей гидротермодинамики Мирового океана и разработку пилотной версии Информационно-вычислительной системы вариационной ассимиляции данных наблюдений о поверхностной температуре и об уровне применительно к акватории всего Мирового океана.