

Анализ современных климатических изменений в Сибири: подход, первые результаты и планы

Гордов Е.П., Богомолов В.Ю., Генина Е.Ю.,
Окладников И.Г., Титов А.Г., Шульгина Т.М.

Сибирский центр климатозэкологических исследований и
образования, ИМКЭС СО РАН gordov@scert.ru

Основные «сибирские» угрозы изменения характера глобальных процессов :

- Сдвиг границ вечной мерзлоты (угрозы инфраструктуре и новые источники углерода);**
- Сдвиг границ экосистем: пустыня_степь_лес (изменения регионального баланса углерода и социо-экономические последствия); и**
- Изменения режима температур, осадков и всей гидрологии (включая влияние на вероятность лесных и торфяных пожаров).**

План:

- Данные
- Подход
- Результаты
- Заключение

Данные метеостанций



Network of weather stations in Siberia (archive of NCDC/NOAA Global Synoptic Network).

Надежные данные метеостанций



Only **62** weather stations located in Siberia from all included into archive of NCDC/NOAA Global Synoptic Network have continuous series covering period from **1958 to 2009**.

Meteo-fields for Siberia territory obtained by interpolation of these observations are not reliable.

However these data can be used for modeling data sets validation and for regional scale modeling

Наборы геофизических данных

Название	Организация	Период	Разрешение
NCEP/NCAR Reanalysis	NCEP/NCAR	1951 – 2001	2.5°×2.5° 17 уровней давления
NCEP/DOE AMIP II Reanalysis	NCEP/DOE	1979 – 2003	2.5°×2.5° 17 уровней давления
ECMWF ERA-40 Reanalysis	ECMWF	1957 – 2004	2.5°×2.5° 23 уровня давления
JMA/CRIEPI JRA-25 Reanalysis	JMA/CRIEPI	1979 – 2009	2.5°×2.5°; 23 уровня давления
NOAA-CIRES 20th Century Global Reanalysis v.II	NOAA/OAR/ESRL PSD	1871 – 2008	2.0°×2.0°; 24 уровня давления
9092c Synoptic Network	RIHMI-WDC/ NOAA CNDC	~ 1900 – 2000	Метеостанции для территории бывш. СССР
ECMWF ERA-Interim	ECMWF	1989 – 2010, закрыт для России	0.25°×0.25° 23 уровня давления
Regional Meteorological Reanalysis for West Siberia (pilot version)	ИМКЭС и СибНИГМИ	В процессе вычислений Объем около 20 Тб!	20 x 20 км.
NCEP Climate Reanalysis	NCEP/NCAR	1979 – 2011 66 Тб!	40 x 40 км.

Температура

Применение статистических критериев однородности (Chi-square and Wilcoxon) к данным по приземной температуре из основных Реанализов (ECMWF ERA-40, NCEP/NCAR, NCEP/DOE AMIP II, CRIP/JMA JRA-25) и рядов наблюдений на 62 станциях показали, что только для данных **ECMWF ERA-40** гипотеза однородности принимается с 5% вероятностью ошибки.

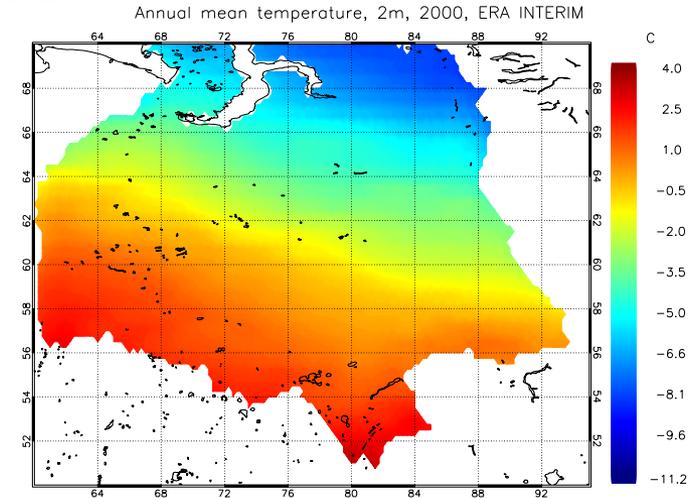
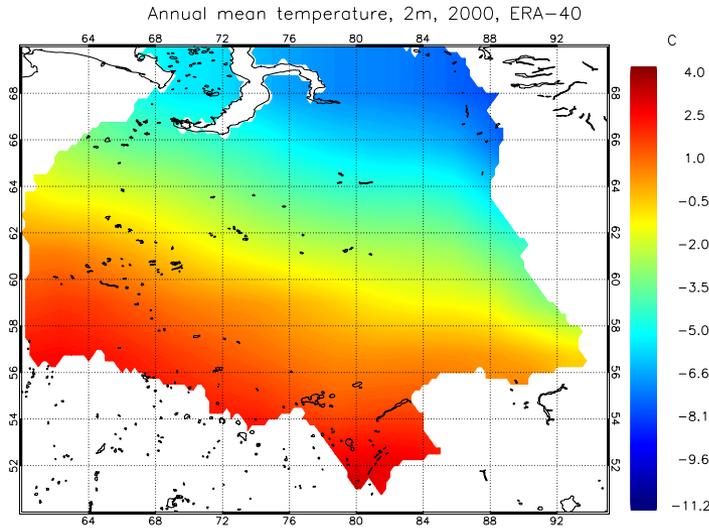
Осадки

Сравнение полей осадков вычисленных на основе ECMWF ERA INTERIM (моделирование) и APHRODITE JMA (интерполяция наблюдений) выявило существенные различия между ними.

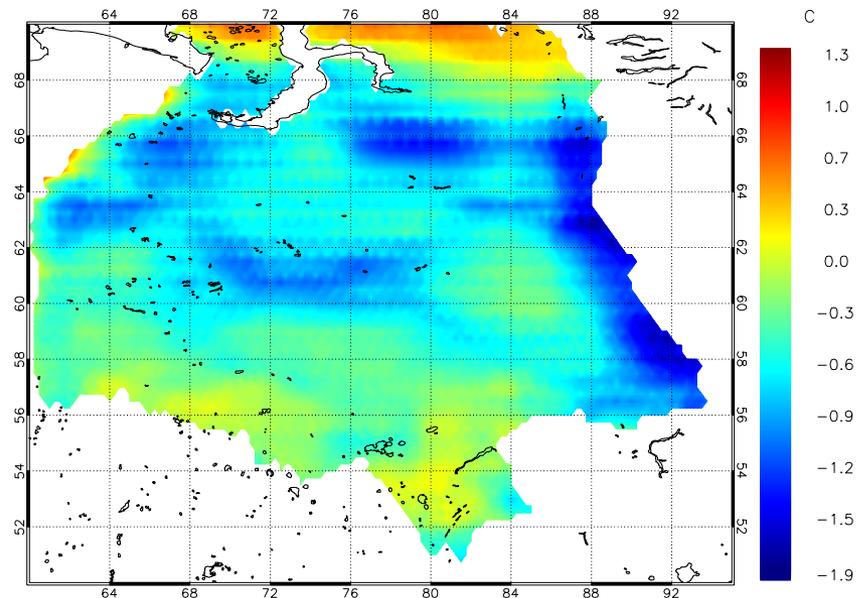
Поэтому, для изучения динамики осадков на территории Сибири можно использовать данные 62 метеостанций и данные APHRODITE JMA для 1958 – 2000.

Новые Реанализы: новые возможности (разрешение)/ новые проблемы (объем)

Сравнение среднегодовой температуры в ERA-40 и Interim



Difference, Annual mean temperature, 2m, 2000, ERA-40 and ERA INTERIM



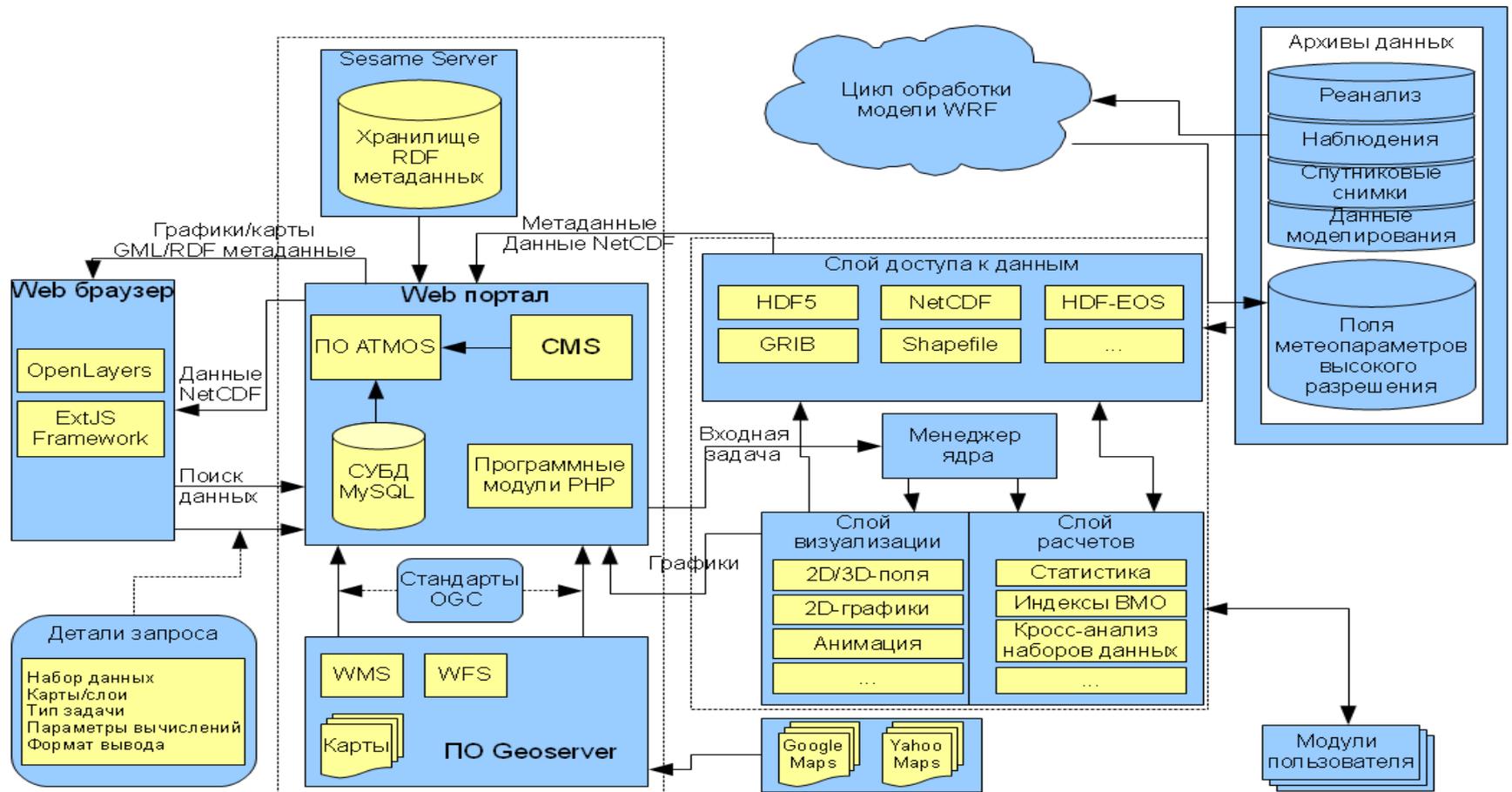
Подход

- Сбор надежных данных на высокопроизводительной системе
- Организация данных и предоставление высокоскоростного доступа к ним
- Реализация алгоритмов для быстрого доступа и поиска данных
- Реализация проверенных алгоритмов обработки данных
- Обеспечение унифицированного доступа через Интернет с удобным интерфейсом пользователя

Веб-ГИС система:

- Унифицированный набор архивов геофизических данных (NetCDF/HDF5)
- Расширяемое модульное вычислительное ядро с поддержкой модулей пользователя
- Обработка данных и представление результатов в графическом виде совместно с файлами данных и метаданных (OGC, ISO 19115)
- Интернет доступ, графический веб-интерфейс пользователя с ГИС-функциональностью
- Метаданные: поиск и выборка, технологии Semantic Web
 - Информационная поддержка интегрированных научных исследований в области наук о Земле
 - Достоверность выполняемого анализа несмотря на разный уровень исследователей

ИВВГС КЛИМАТ



Архивы данных

- Хранилище наборов данных
 - Реанализы (ERA-40, JRA-25, NCEP/NCAR, NOAA-CIRES)
 - Данные метеостанций РФ
 - ДДЗ Landsat 4-7, GLS, MODIS
 - Объем данных 6 Тб, доступно 17 Тб (RAID-6), возможно расширение до 30 Тб
 - Базовый набор геопривязанных карт, включая карты растительного покрова, природных экосистем, индекса NDVI
- Данные реанализов приведены к форматам NetCDF/HDF5
- Резервное копирование - стример HP Ultrium LTO-4



Функциональность вычислительного модуля

Standard characteristics	Climate extreme indices	Indices controlling forest ecosystems
Sample mean, standard deviation of meteorological parameters	Maximum and minimum values of meteorological parameters	Growth season duration, first/last days of growth season
Moving mean with a given window width	Daily temperature range, Intra-annual extreme temperature range	Thaw days during cold season, Cold days during warm season
Number of days with meteorological value in a given range	Climate extreme indices concerning temperature and precipitation (WMO)	Selyaninov hydro-thermal coefficient

- Linear trend
- Statistical tests (Student, Fisher, Tau-Kendall)
- Correlation coefficients
- Datasets comparison

Результаты

Вычисления выполнены с помощью модуля ИВВГС.

Система позволяет выполнять интерактивный анализ и визуализацию без предварительной загрузки данных и их переформатирования.

Помимо визуализации, результаты архивируются в файлах заданного формата, готовых для использования в приложениях.

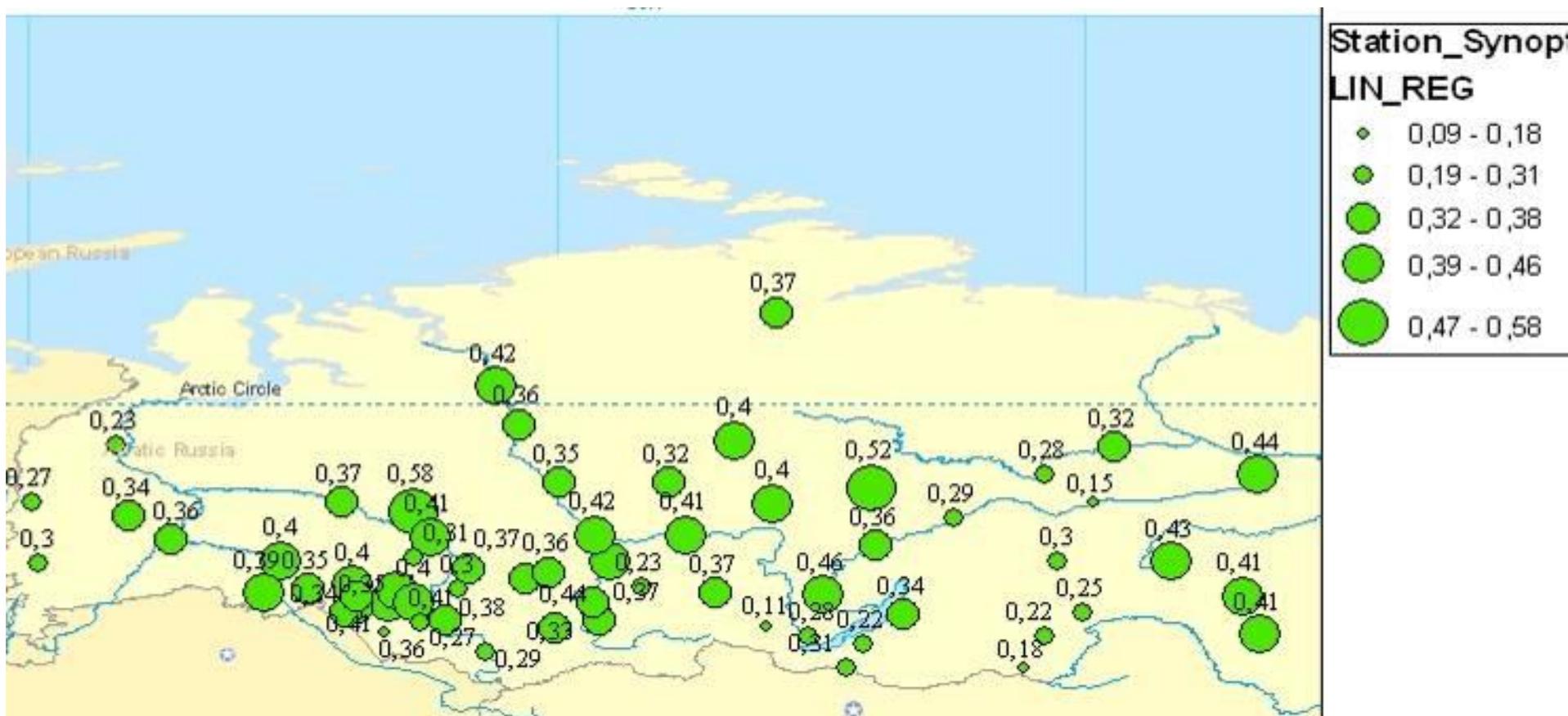
Климатические характеристики: статистический анализ данных реанализа и наблюдений

Исследование поведения температуры воздуха для территории Сибири в терминах следующих климатических характеристик

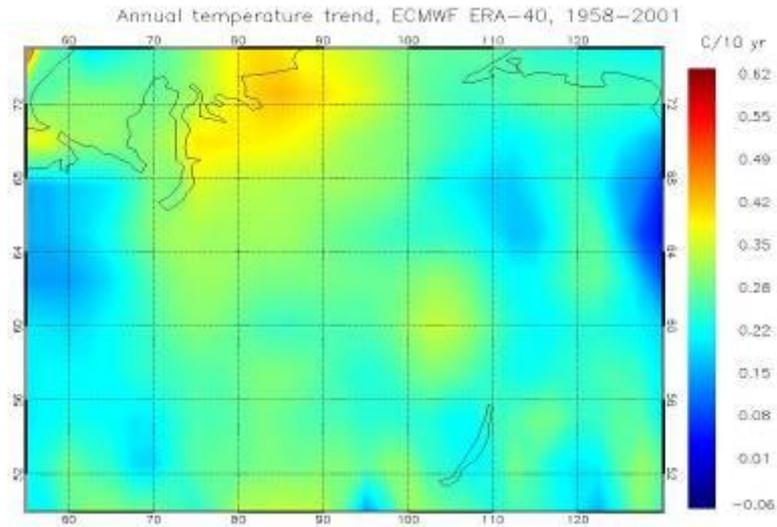
- Средние:
 - годовые, сезонные и месячные средние температуры;
 - длительность теплого периода года
- Климатические экстремальные индексы:
 - число морозных и летних дней, число тропических ночей;
 - амплитуда суточной температуры, экстремальные значения за несколько лет

Станции (1958 – 2009)

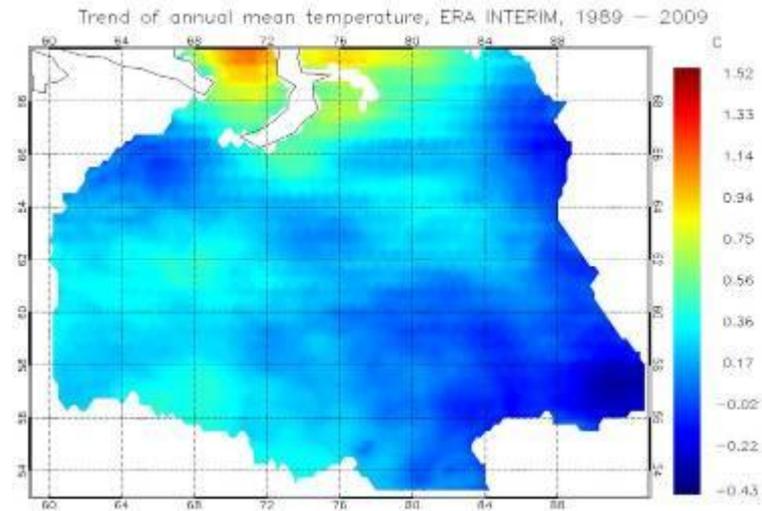
Annual and seasonal mean linear trends grow from 0,3 to 0,5 oC/10 years;
For Southern part of West Siberia 0,4 oC/10 year, for South of East Siberia trend is below a 0,3 oC/10 years.



Реанализы



Annual mean temperature trend for 1958 – 2001 (ERA-40)



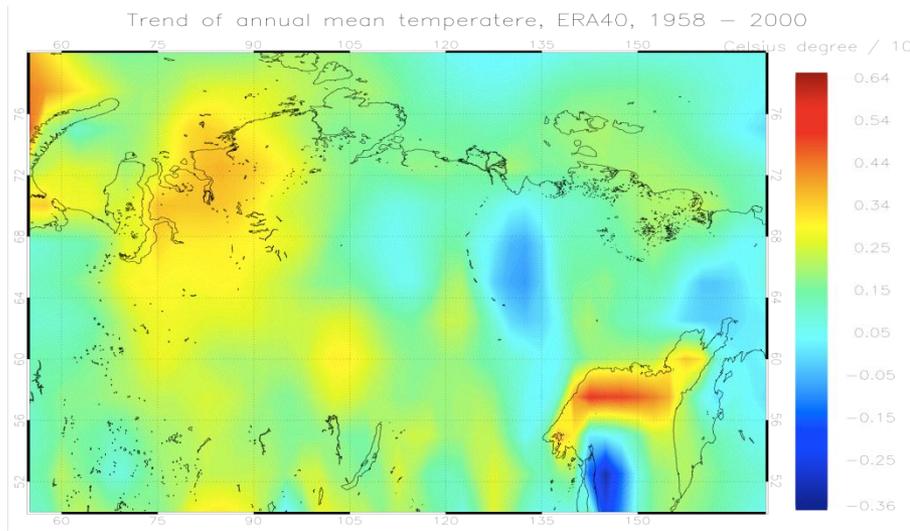
Annual mean temperature trend for 1989 – 2009 (ERA INTERIM)

ERA-40 (1958 - 2001) dataset revealed positive annual mean temperature trend (from 0.18 to 0,18 – 0,42 °C/10 years) with the most pronounced warming in the Northern regions of Siberia (0.3 – 0.42°C/10 years). As a whole, warming is the most pronounced in winter (0.5 – 0.75 °C/10 years) and in spring (0.5 – 0.6 °C/10 years).

ERA INTERIM dataset has shown more inhomogeneous pattern of temperature increase (0.25 – 0.55 °C/10 years) in the Northern and Western parts of West Siberia and its' decrease (up to –0.4 °C/10 years) in the south-east for 1989–2009.

Accelerated warming of the Northern part exists during the whole analyzed period ¹⁸

Динамика температуры



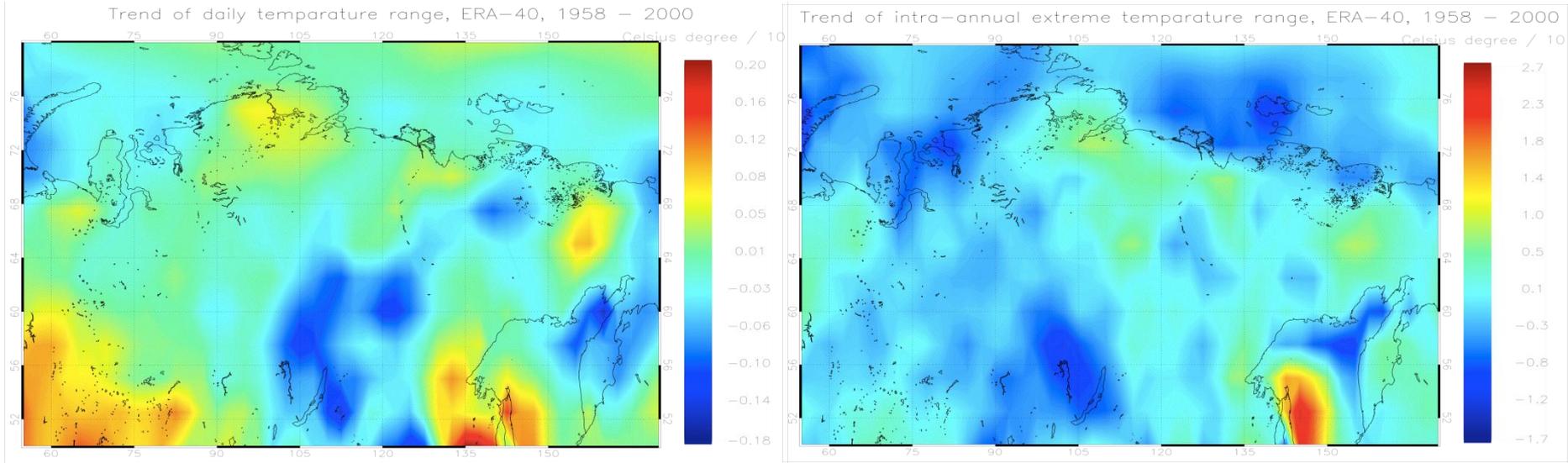
Тренд среднегодовой температуры:

- 0.3 – 0.4 C/10 лет (северная часть Западной Сибири)
- 0.2 – 0.3 C/10 лет (южная часть Западной Сибири)

Тренд средней за сезон температуры:

- Зима: 0.5 – 0.7 C/10 лет (северная и центральная части Западной Сибири)
- Весна: до 0.7 C/10 лет (северная часть Западной Сибири) и 0.4 - 0.55 C/10 лет (центральная часть Западной Сибири)
- Лето, осень: нет статистически значимых изменений

Динамика экстремумов температуры



Тренд суточной амплитуды температуры (слева) и экстремальных значений за несколько лет (справа), ECMWF ERA-40, 1958 - 2000 г.г.

- Нет значимых изменений в суточной амплитуде температуры
- Тренд экстремальных значений температуры за несколько лет: 0.5–1.0 C/10 лет

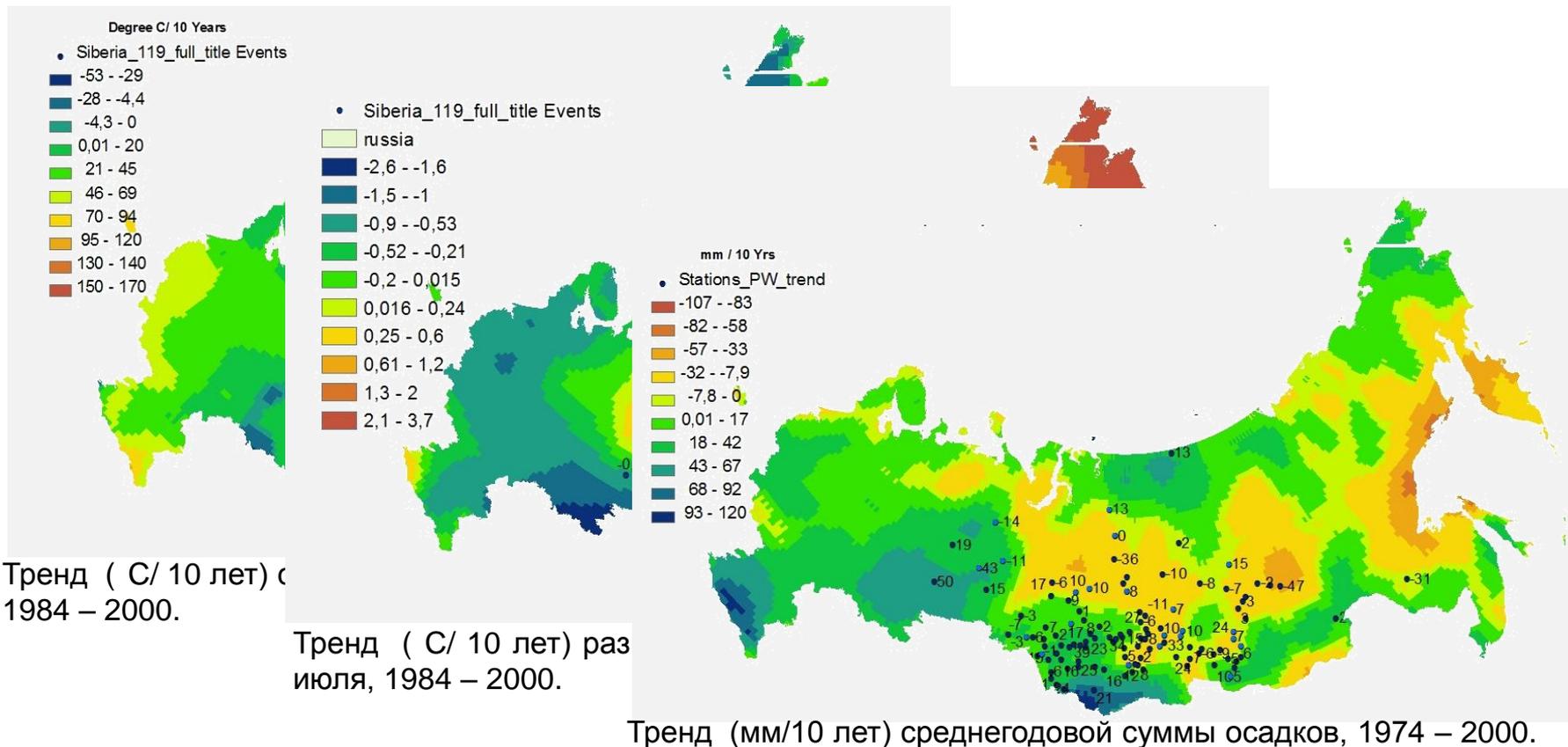
Климатические характеристики, контролирующие развитие сибирских лесных экосистем

Динамика климатических индексов, определяющих развитие лесных экосистем в Сибири за период 1974 - 2000 г.г.

Характеристики:

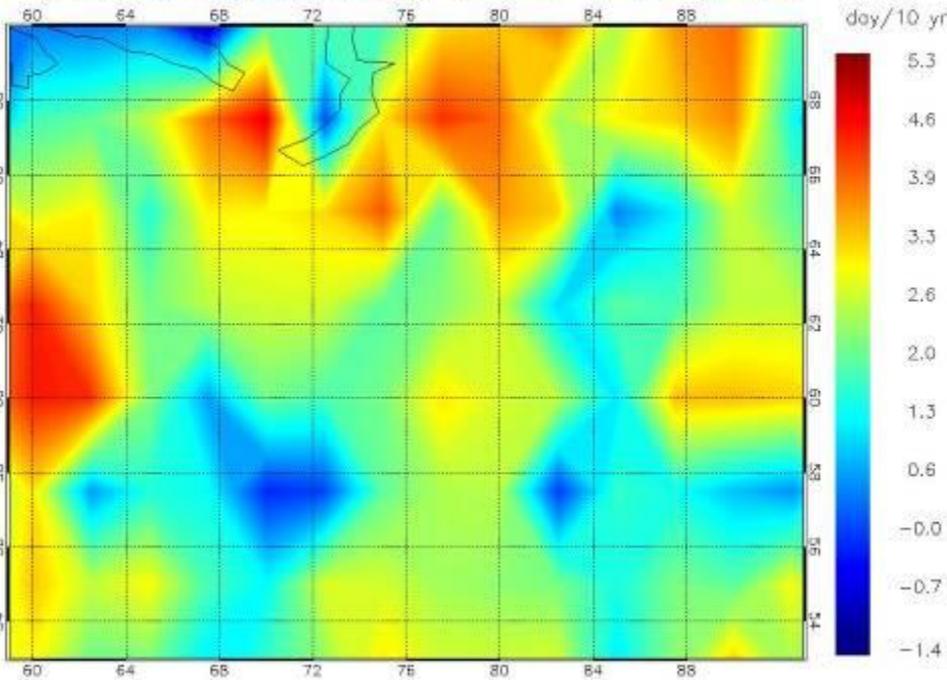
- средняя температура за год, сезон, месяц
- сумма температур $> 5^{\circ}\text{C}$ и длина вегетационного периода
- сумма осадков за год; продолжительность холодного и теплого периодов года
- амплитуда значений температуры воздуха

Динамика климатических индексов

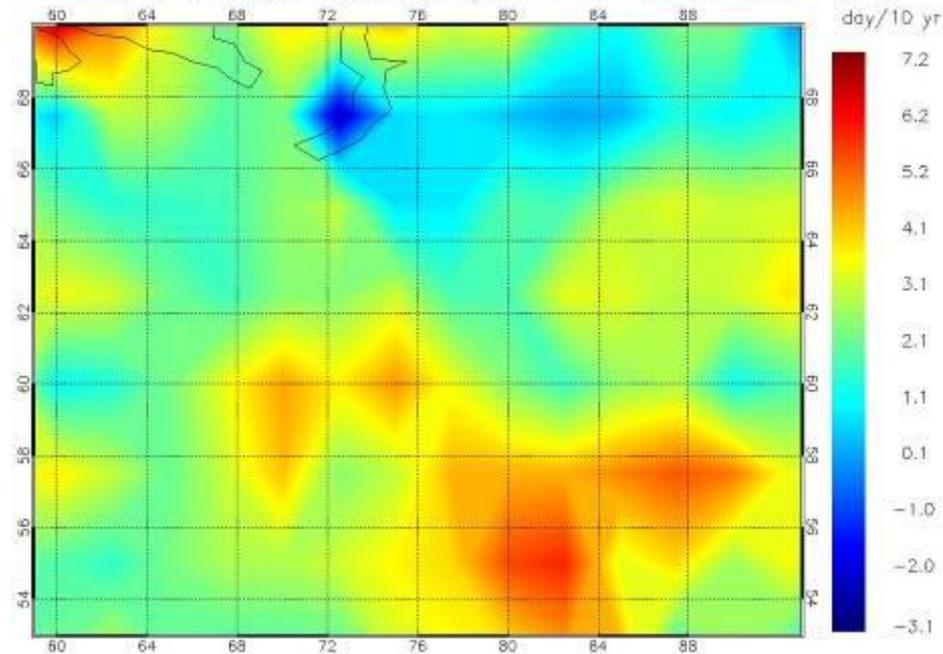


Динамика длительности вегетационного периода: средняя дневная температура выше 5 °C (слева) и 10 °C справа), of ERA-40 Reanalysis 1958 – 2002. В обоих случаях умеренный рост длительности (2-4 дня за 10 лет, в среднем).

Trend of growing season length (dT > 10 C), ERA 40, 1958 – 2001



Trend of growing season length (dT > 5 C), ERA 40, 1958 – 2001



Тренд длительности вегетационного периода (t > 5 °C)

Тренд длительности вегетационного периода (t > 10 °C)

Региональное климатическое моделирование

- Цель: Создание архива данных региональных метеорологических полей с высоким пространственным разрешением (20 км) для Западной Сибири.

- Подход:

В качестве начального приближения выбран реанализ ECMWF ERA-40, наиболее точно воспроизводящий метеорологические характеристики для территории западной Сибири (по результатам сравнения с данными наблюдений на метеостанциях).

- При расчете полей используется процедура «сеточный наджинг», для корректировки полей приземной температуры данными станционных измерений. Для запуска модели на долгий срок применяется процедура 3DVAR. Используется карта землепользования USGS. Для приземного слоя используется модель Noah. Калибровка модели и подборка параметризаций производилась по данным измерений на метеостанциях, расположенных на территории Западной Сибири.

Расчетная область: Западная Сибирь 2500x2000 км, шаг сетки - 20 км.

- Шаг по времени - 6 часов

- Результат выводится в формате netCDF.

Региональное климатическое моделирование

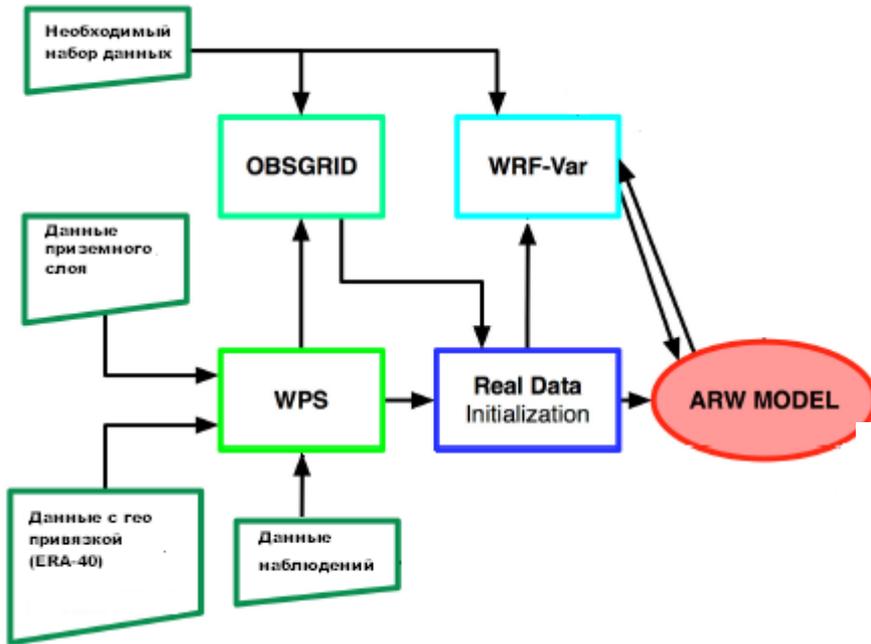
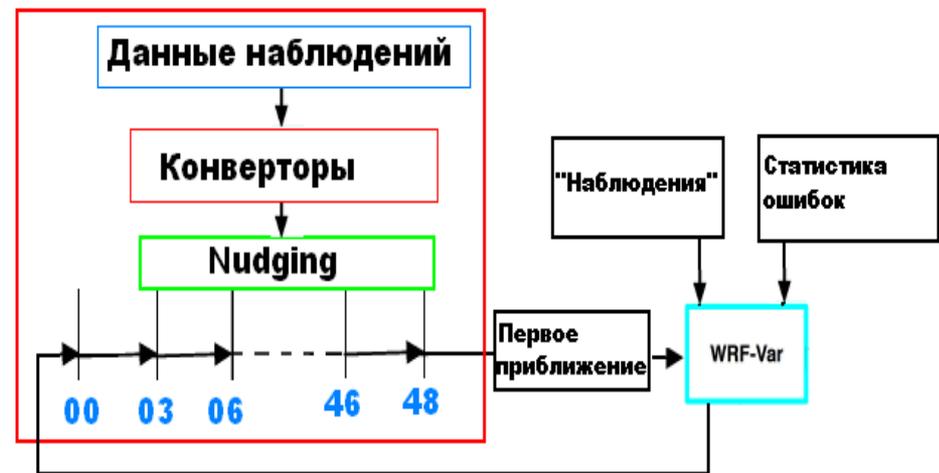


Схема расчета долгосрочной проекции метеополей моделью WRF

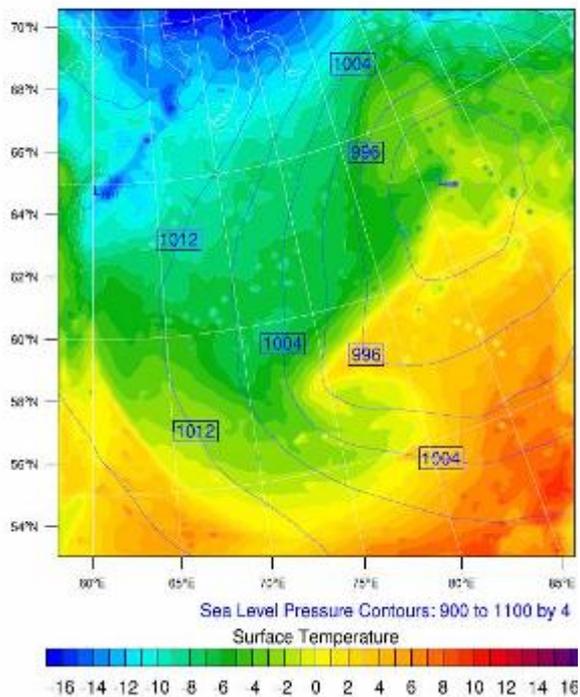
Структура программного комплекса WRF-ARW и WFDDA

Прогноз (WRF)

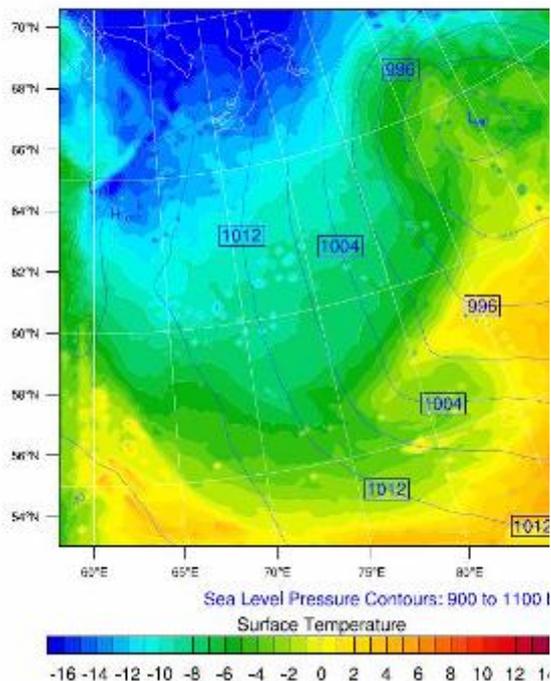


Примеры вычисленных полей

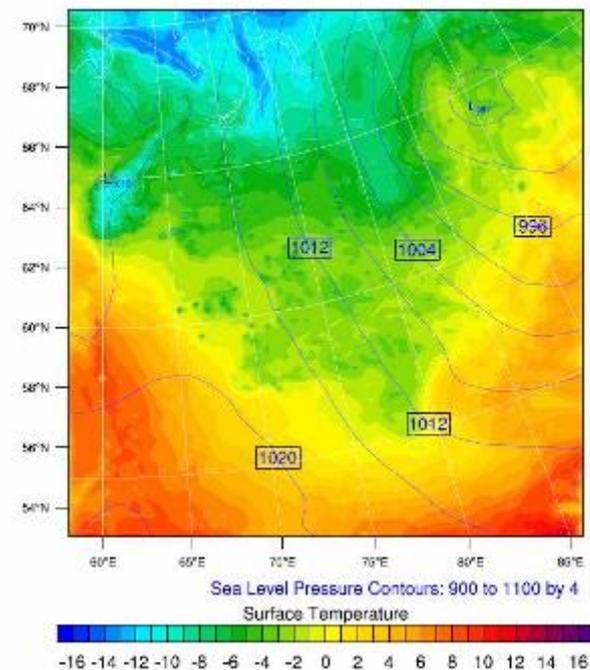
Western Siberia



Western Siberia



Western Siberia



Приземная температура от 6 часов 1 ноября 1990, временной шаг 6 часов

Заключение

- Для получения надежных метеополей нужна межведомственная программа создания регионального Реанализа, нужны данные региональных метеостанций!
- Создаваемая ИВВГС КЛИМАТ позволяет эффективно работать с большими архивами метеоданных и дает основу для разработки ведомственной системы анализа текущей метеоситуации, включая «now-scaling»
- Проведенный анализ подтвердил сообщавшиеся ранее тенденции динамики регионального климата и позволил существенно уточнить локализацию и степень неоднородности недавних климатических изменений в регионе
- **Чтобы добиться прогресса нужно «дружить домами» и выполнять совместные проекты (РФФИ, Госкомприрода, Росгидромет)!**

Спасибо за внимание!