Технология составления регионального прогноза погоды на основе модели WRF ARW

Ю.В. Мартынова[1,2], Р.Б. Зарипов[3], А.П. Петров[1],

FoxyJ13@gmail.com

[1]Сибирский региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт (СибНИГМИ), Новосибирск
[2]Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (ИМКЭС СО РАН), Томск
[3]Гидрометеорологический научно-исследовательский центр РФ, Москва

Научно-практическая школа-семинар для молодых ученых и специалистов в области гидрометеорологии
31 октября – 2 ноября 2012 года
г. Новосибирск

План

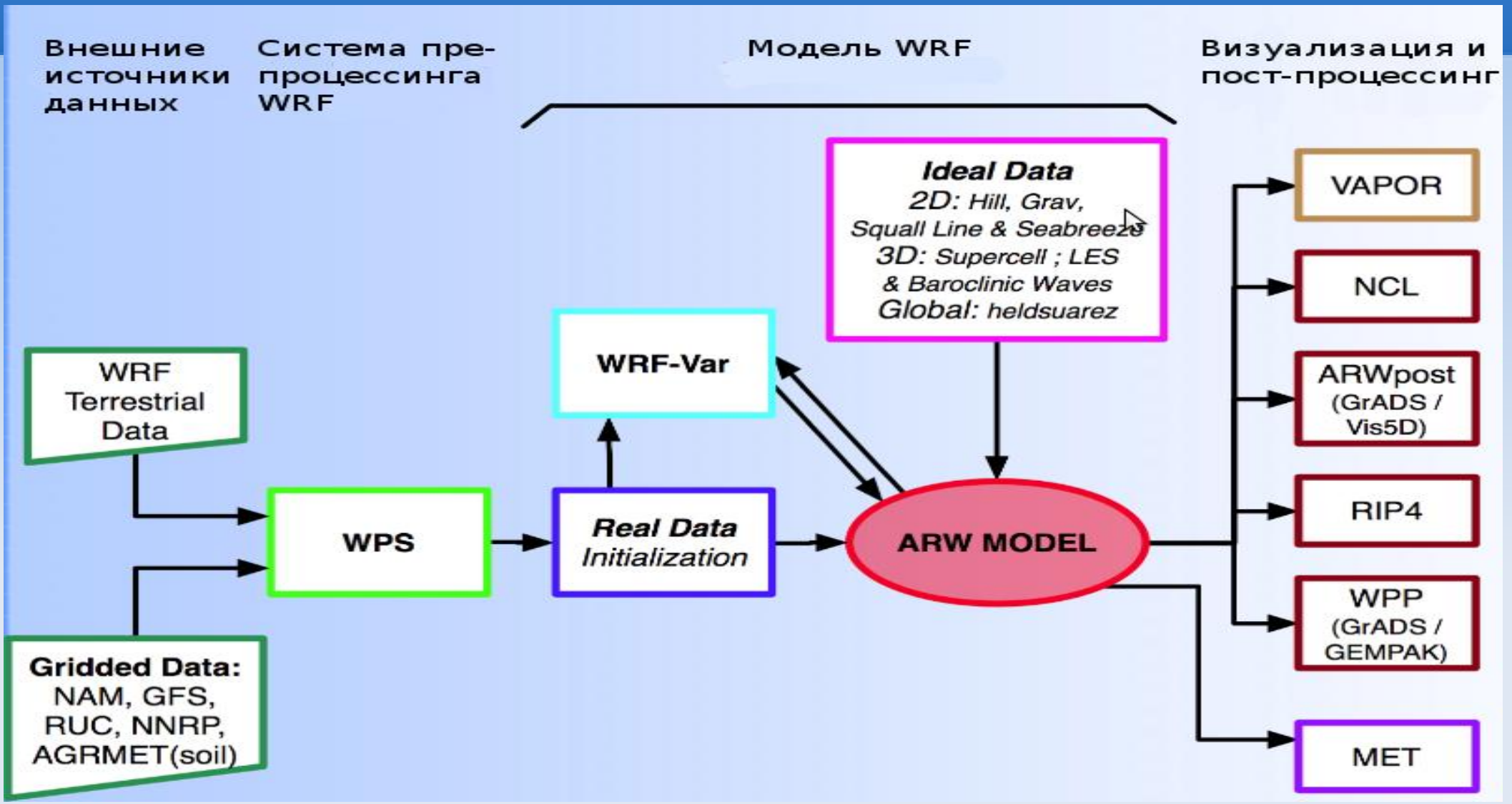
- Модель
- Технология расчета прогноза
- Область
- Настройка модели
- Повышение качества прогнозов
- Постобработка результатов моделирования
  - Оценки
  - Визуализация
- Заключение

Модель

Модель WRF ARW (www.wrf-model.org/)

- Модель WRF ARW является одним из двух вариантов мезомасштабной модели WRF.
- Модель основана на упругих негидростатических уравнениях движения для сжимаемой жидкости.
- Вертикальной координатой модели является σ. Поверхности равных значений σ у нижней границы области моделирования следуют за рельефом, при приближении к верхней границе становятся близкими к поверхностям равного давления.
- Уравнения движения дискретизируются на пространственной сетке Аракавы класса «С» и интегрируется по времени методами Рунге-Кутта третьего и второго порядка с использованием метода расщепления.
- Группам подсеточных процессов соответствуют по несколько вариантов параметризаций различной степени сложности.

Общая структура системы программ WRF



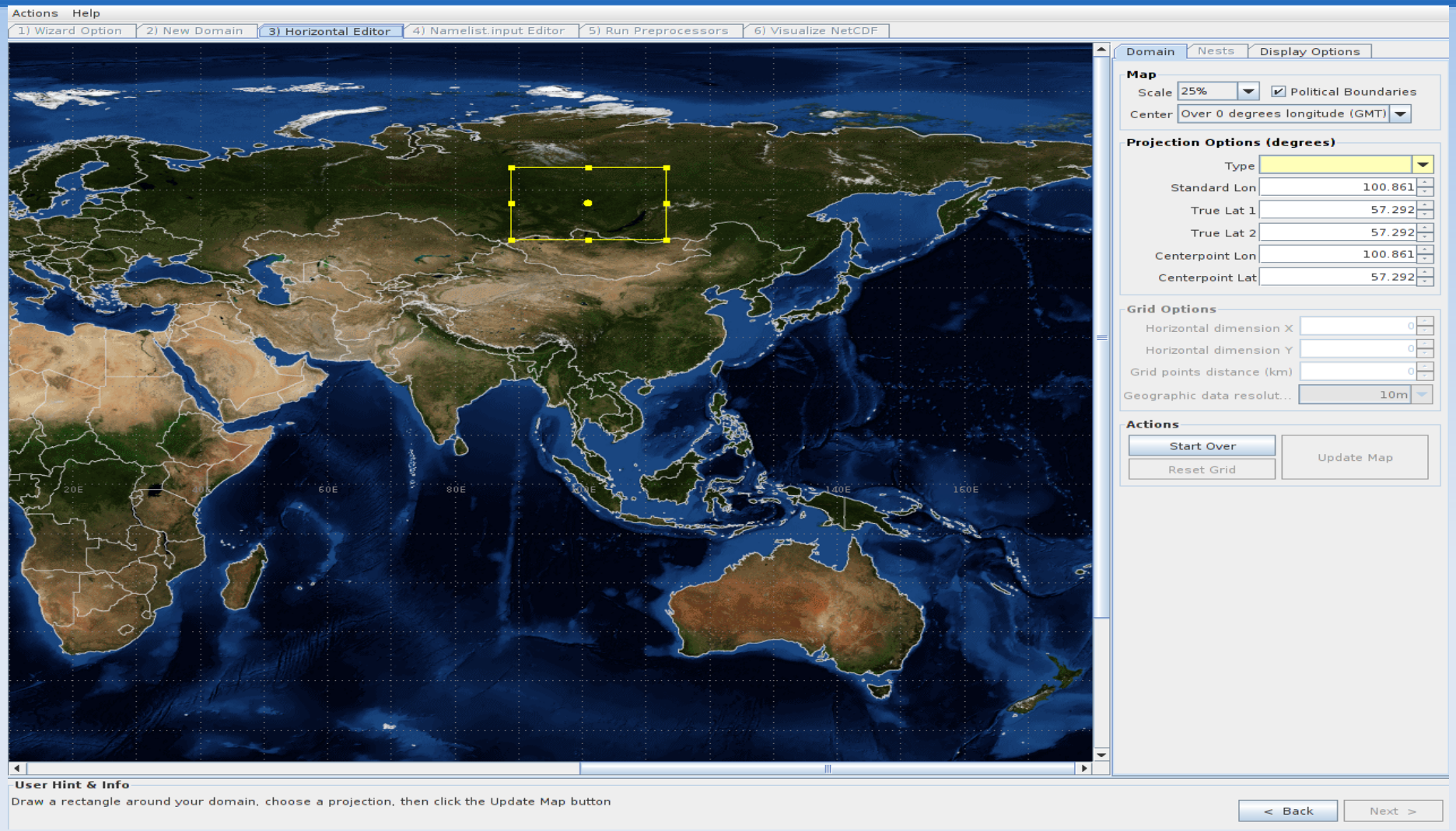
Пакет WRF Domain Wizard

“**WRF Domain Wizard**” - приложение позволяющее интерактивно работать с системой препроцессинга WPS.

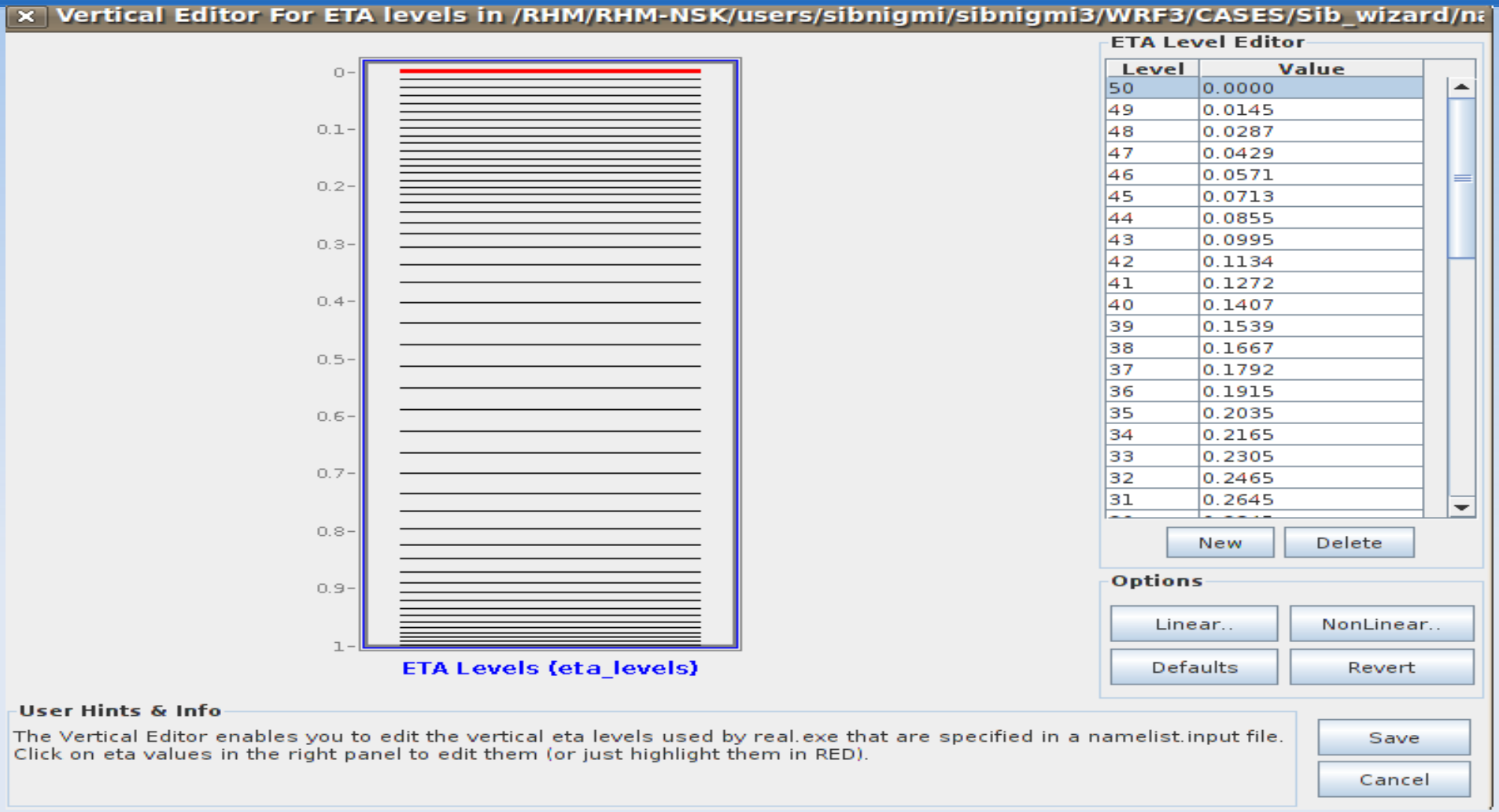
Приложение “**Domain Wizard**” позволяет пользователям:

- определять и локализовывать области моделирования, выбирая необходимые регионы на карте Земли,
- определять вложенные области, используя соответствующий редактор,
- интерактивно управлять программами препроцессинга geogrid, ungrib, и metgrid,
- визуализировать выходные данные формата NetCDF.

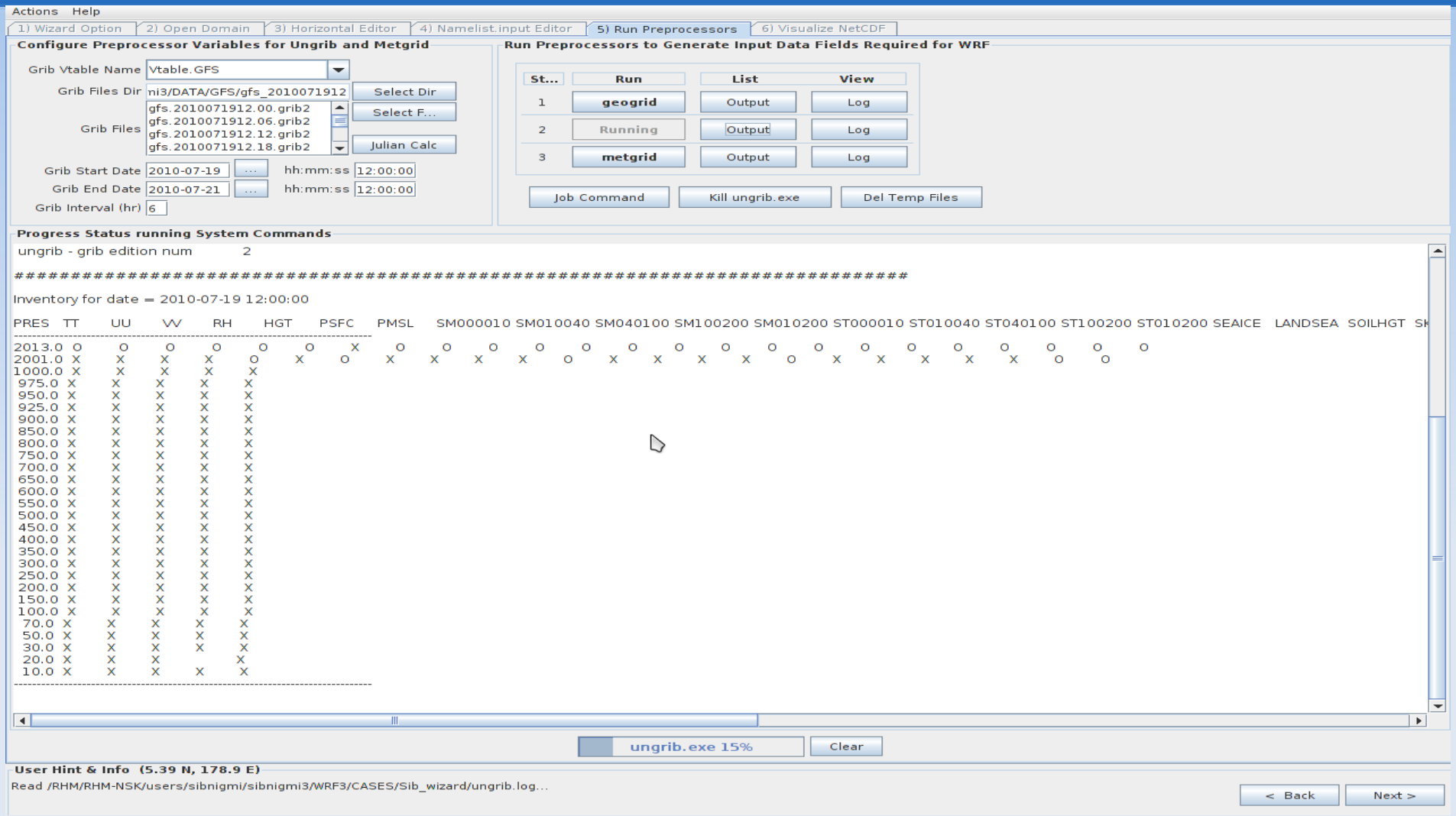
Пакет WRF Domain Wizard



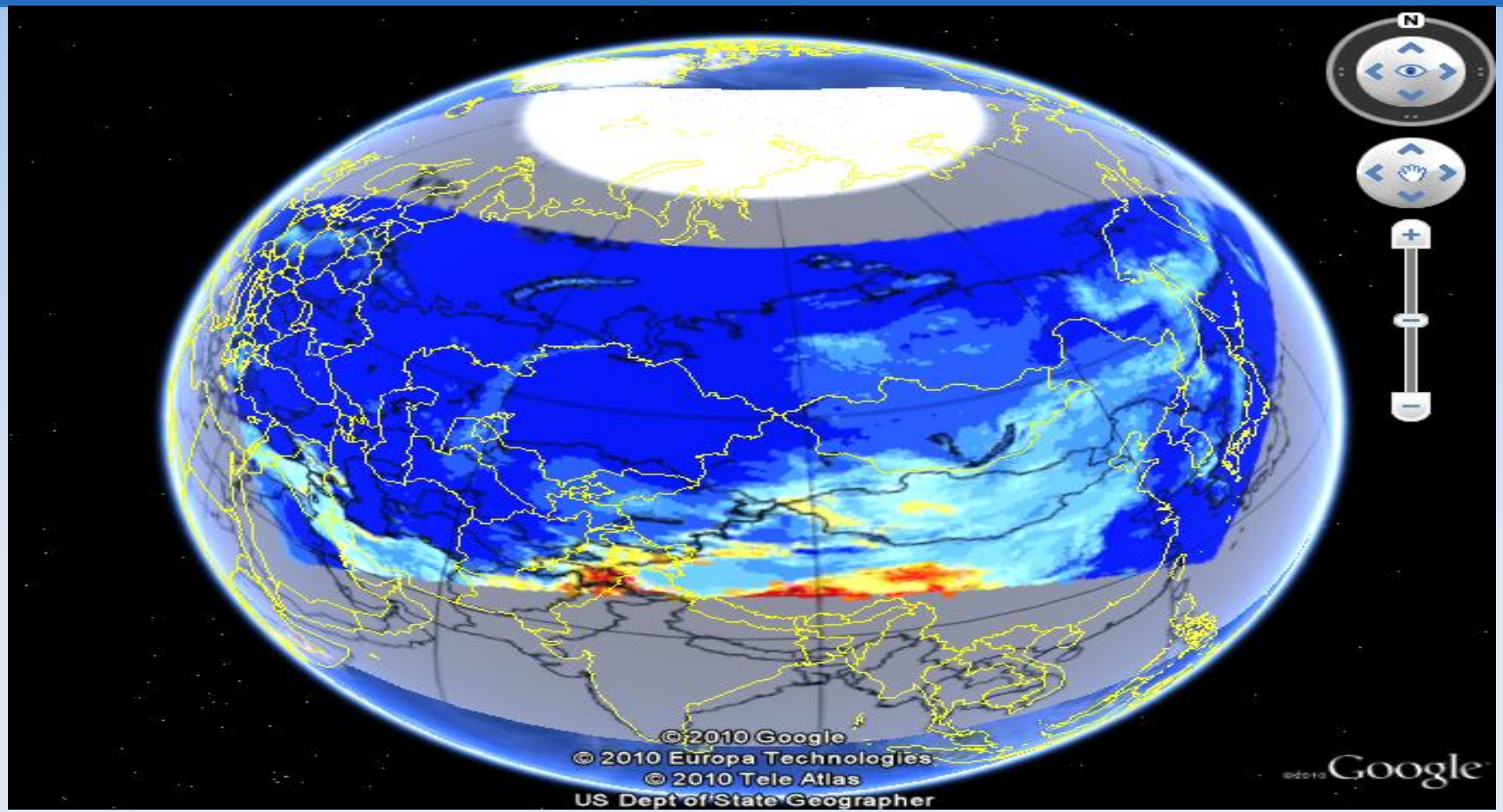
Пакет WRF Domain Wizard



Пакет WRF Domain Wizard



Пакет WRF Domain Wizard



Технология расчета прогноза

Вычислительный сервер SGI Altix 4700

- 128 процессорных ядер Intel Itanium2
- оперативная память 256 Гб
- 10 Тб дискового пространства
- пиковая производительность 660 GFLOPS
- Для работы с моделью WRF может использоваться до 80 ядер сервера.

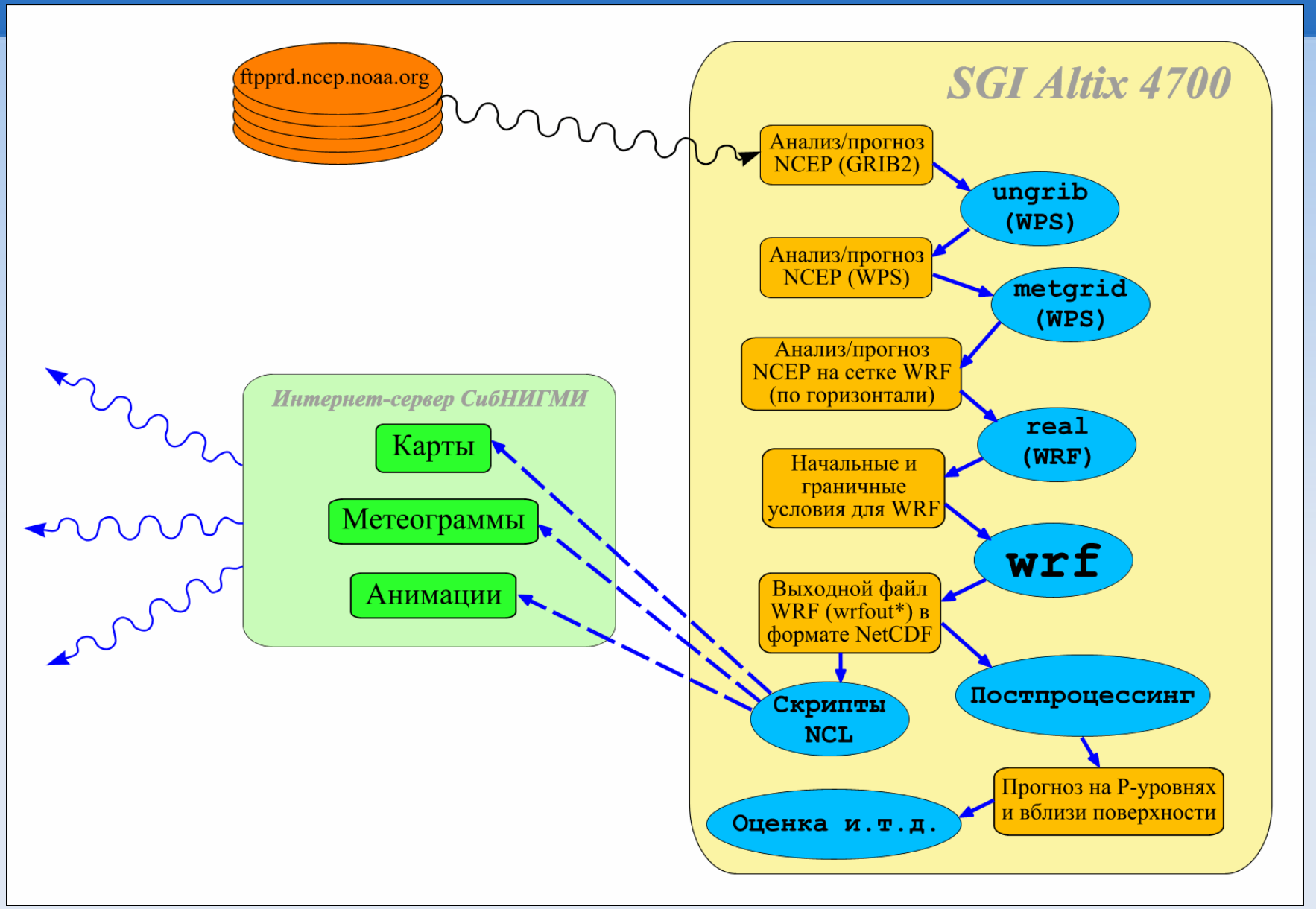
Программное обеспечение SGI Altix 4700

- ОС SLES 10
- Система управления заданиями PBSPro (версия 10.0),
- Компиляторы Intel: C, Fortran (версии 9.1.043, 10.1.018, 11.07.074),
- Отладчик Intel Debugger (версия 11.07.074),
- Отладчик Etnus TotalView (версия 8.4.1-5),
- Библиотека Intel MPI Library (версия 2.0).

Начальные данные

- При счете WRF ARW используются данные глобального анализа и прогнозы модели NCEP.
- Данные загружаются с сервера NCEP: ftp://ftpprd.ncep.noaa.gov.
- Глобальные прогнозы NCEP доступны от сроков: 00, 06, 12, 18 ВСВ, с заблаговременностью до 180 часов с временным шагом полей 3 часа. Данные приводятся на 26 изобарических поверхностях (+ поверхность), с горизонтальным разрешением 0.5 x 0.5º.
- Для расчёта прогнозов, на кластер SGI Altix 4700 используются данные от 12 ВСВ.

Схема счета


ftpprd.ncep.noaa.org
SGI Altix 4700
Анализ/прогноз NCEP (GRIB2)
ungrib (WPS)
Анализ/прогноз NCEP (WPS)
metgrid (WPS)
Анализ/прогноз NCEP на сетке WRF (по горизонтали)
real (WRF)
Начальные и граничные условия для WRF
wrf
Выходной файл WRF (wrfout*) в формате NetCDF
Постпроцессинг
Скрипты NCL
Прогноз на P-уровнях и вблизи поверхности
Оценка и.т.д.
Интернет-сервер СибНИГМИ
Карты
Метеограммы
Анимации

Используемые программные пакеты

Распространяемые с сайта WRF:

- Сама модель WRF ARW (версия 3.1.1);
- Система подготовки начальных данных WPS (3.1.1);
- Система усвоения данных WRF DA (3.1.1).

Дополнительные внешние библиотеки:

- NetCDF(4.0.1), JasPer(1.701.1), PNG(3.1.2.8), zlib(1.1.4).
- Собственные программы для постпроцессинга, оценки и работы с данными наблюдений

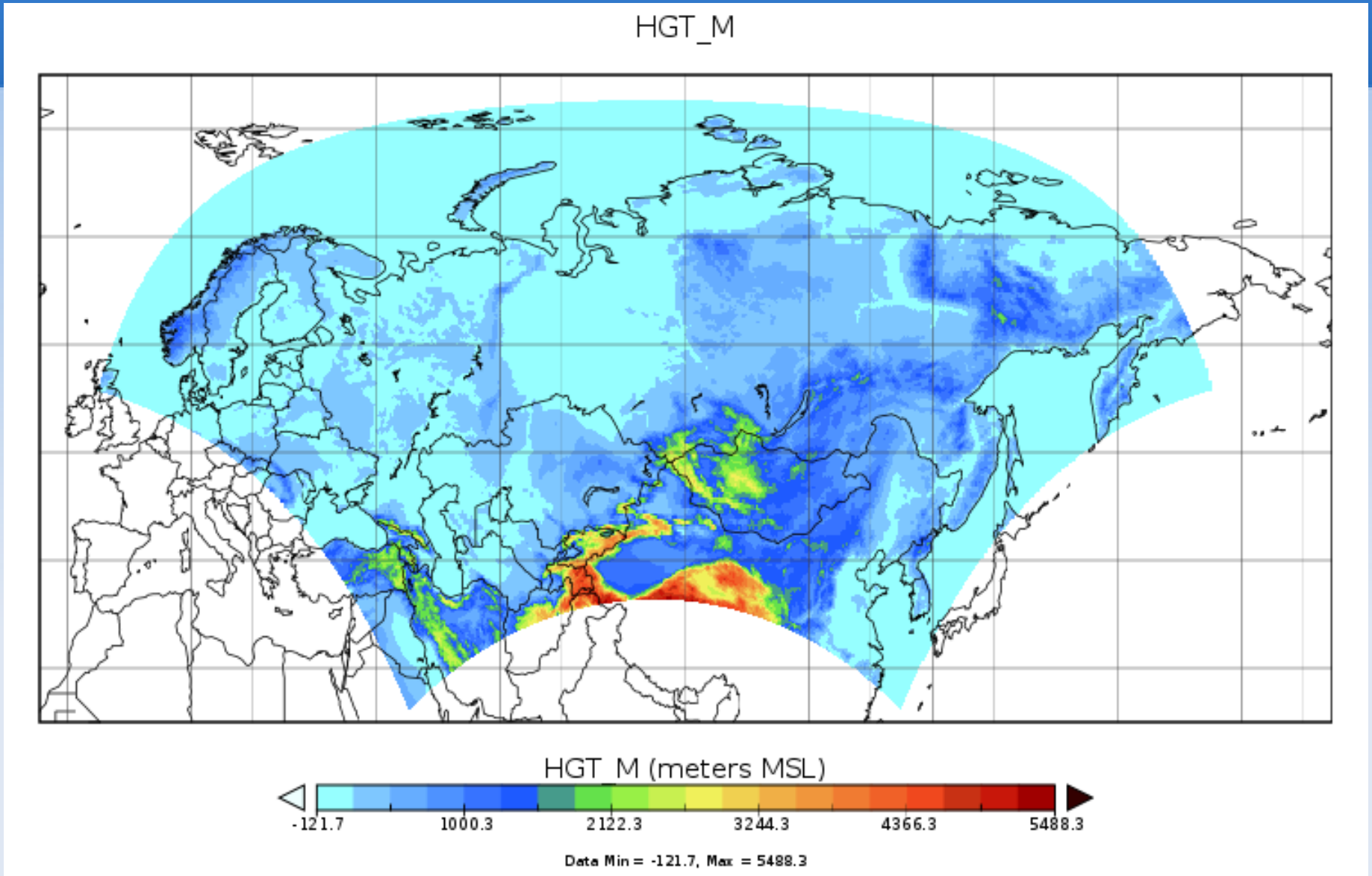
Область

Подстилающая поверхность

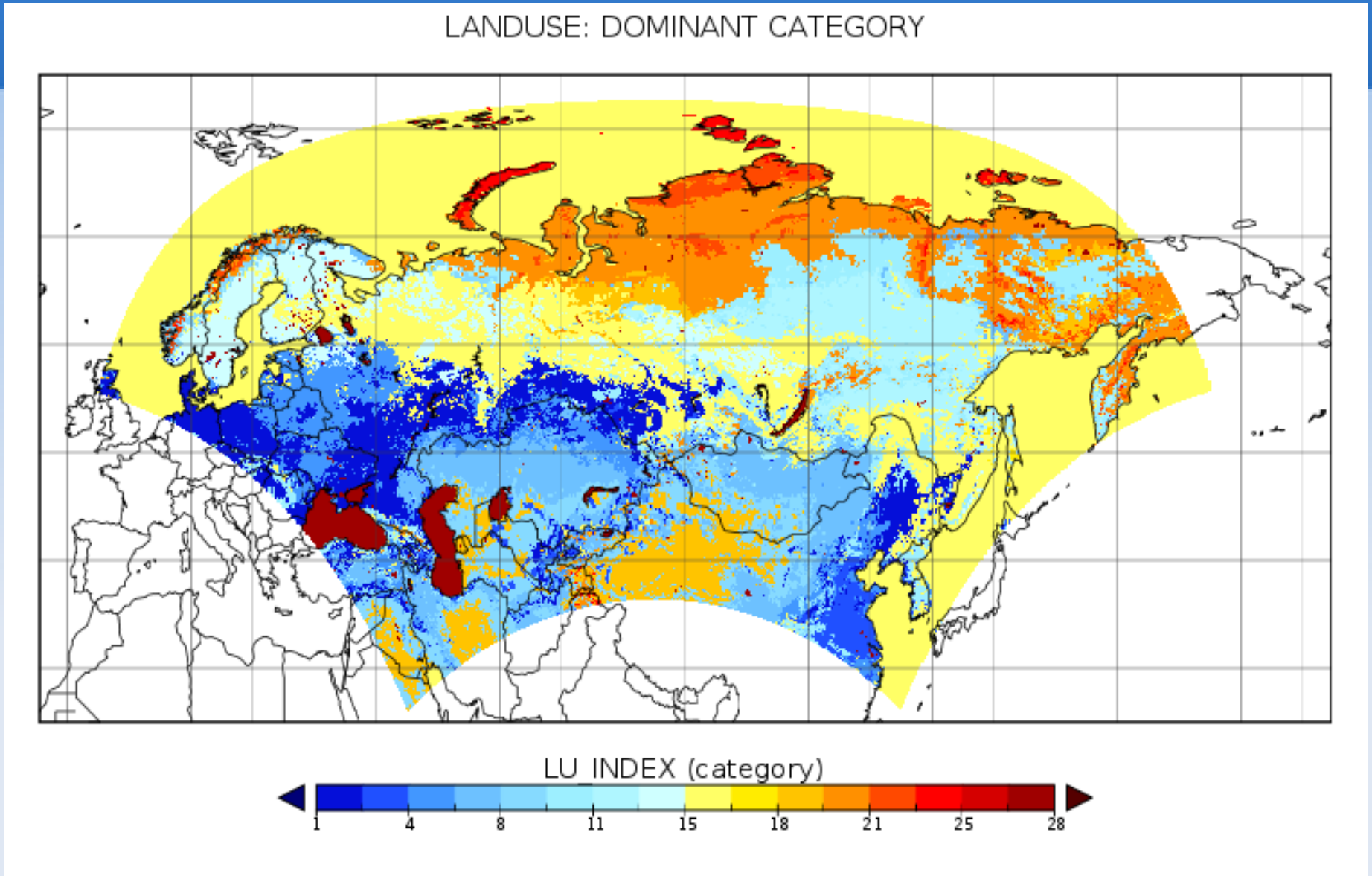
Карты:

- описывающие рельеф
- землепользования (USGS, MODIS)
- альбедо поверхности
- зеленой фракции
- типы почвы

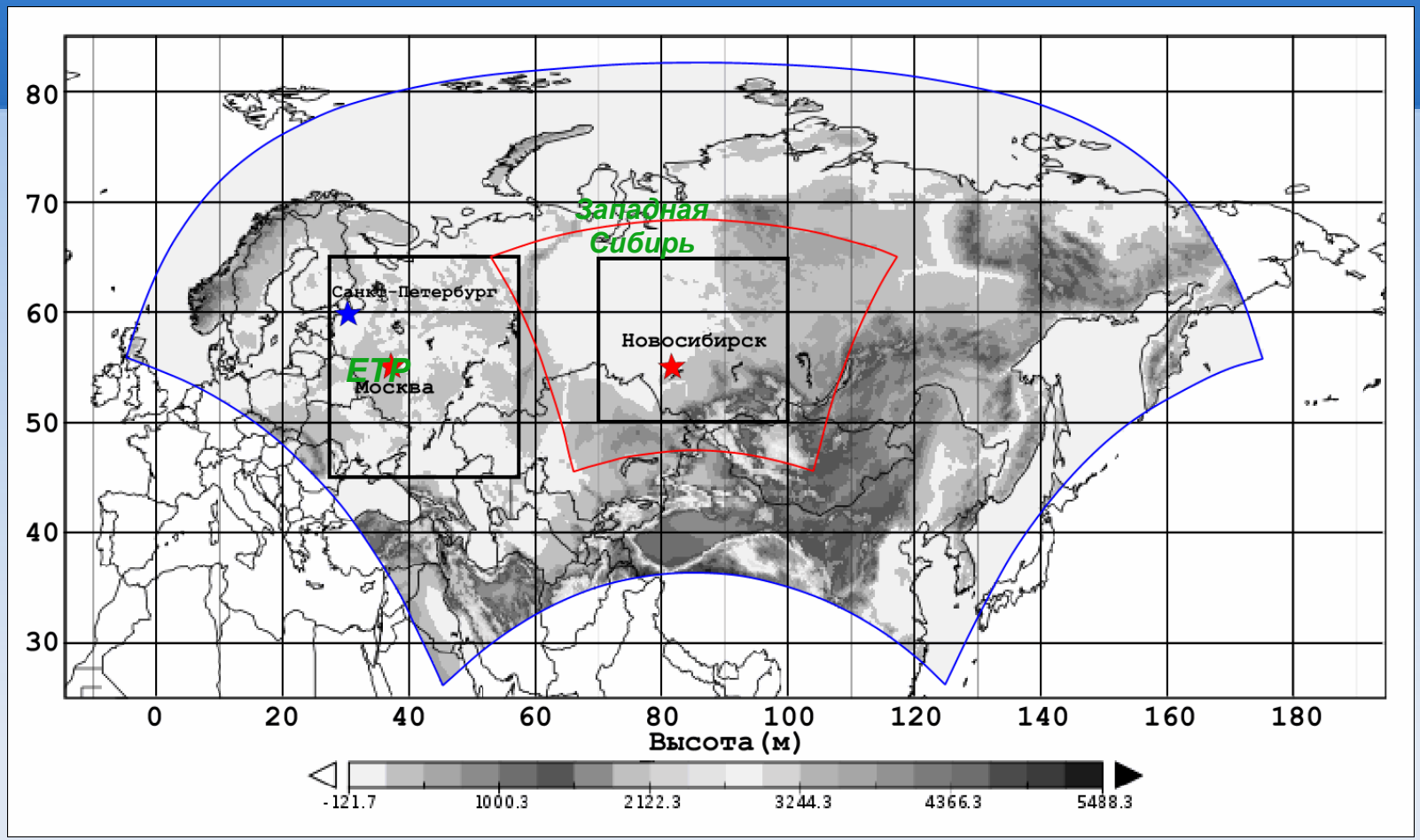
Орография


HGT_M
HGT_M (meters MSL)
-121.7
1000.3
2122.3
3244.3
4366.3
5488.3
Data Min = -121.7, Max = 5488.3

Карта землепользования



Область моделирования

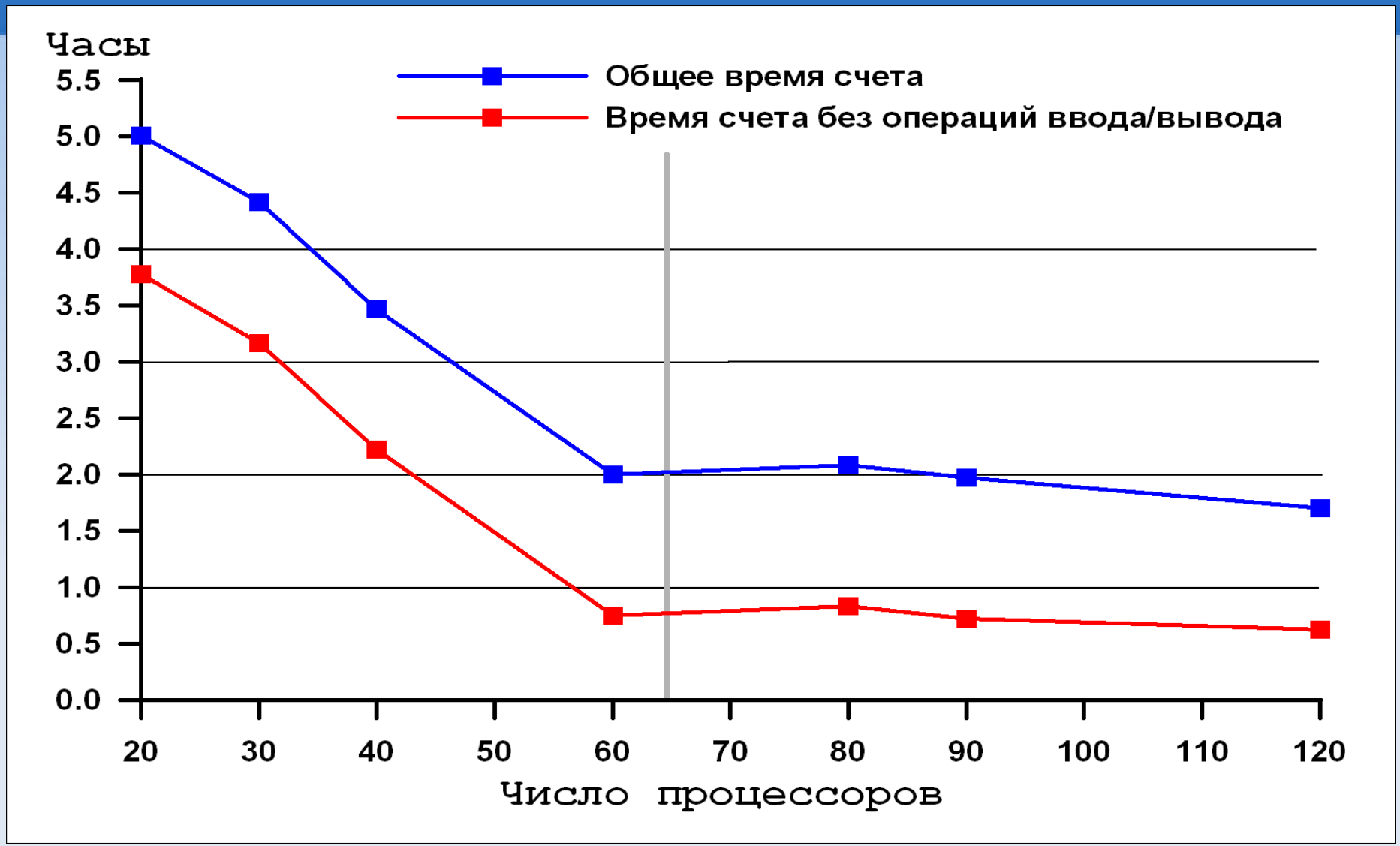


Синяя линия: основная область (WRF 3.1.1) с горизонтальным разрешением 14x14 км, 44 вертикальных уровня (пов. земли - 10 гПа).

Красная линия: дополнительная область (WRF 3.4.1) с шагом вычислительной сетки 9 км.

Настройка модели

Масштабируемость модели



Оптимальный набор параметризаций подсеточных процессов

- Микрофизические процессы - двумоментная схема Томпсона (на каждом шаге)
- Конвекция – схема Грелла-Девенью (считается раз в 5 минут)
- Коротковолновая радиация - схема Дудья (считается раз в 10 минут)
- Длинноволновая радиация - схема RRTM (считается раз в 10 минут)
- Пограничный слой - схема университета Yonsei
- Приземный слой - схема Монина-Обухова
- Почвенные процессы - схема Noah
- Используется подавление вертикальных движений в верхних 7 км (область моделирования до 10 гПа)

Повышение качества прогнозов

Усвоение данных для модели WRF ARW (WRF DA)

- Пакет WRF Data Assimilation (WRF DA) свободно распространяем.
- Включает технологии 3D-Var, 4D-Var (при добавлении пакета WRFPLUS), ансамблевого усвоения данных.
- Используются контактные наблюдения в специальном текстовом формате.
- Спутниковые наблюдения за уходящей радиацией (при их усвоении используется свободно распространяемая библиотека RTTOV) - в формате BUFR.

Усвоение данных

- Используется входящий в WRF DA технология 3D-Var, используются данные как контактных наблюдений (синоптические данные и данные радиозондирования), так и спутниковые данные об уходящей радиации (на данном этапе - данные приборов AMSU-A на спутниках NOAA).
- Контактные наблюдения - из баз данных Гидрометцентра России.
- Спутниковая информация: ftp://ftp.ncep.noaa.gov - оперативная; http://nomads.ncdc.noaa.gov - архивные данные.

Результаты:

- Поля анализа NCEP в результате дополнительного анализа тех же самых наблюдений не улучшаются.
- Можно ожидать, что при использовании дополнительных наблюдений (например, данных радара), не используемых в NCEP, технология 3D-Var приведет к улучшению начальных полей WRF.

Статистическая коррекция прогнозов

- Применяется распространенный подход MOS (Model Output Statistics), при выборе параметров коррекции прогноза сравниваются рассчитанные метеорологические величины и анализ/наблюдения.
- Рассчитанные поля на изобарических поверхностях корректируются на разность модельных прогнозов рассматриваемой заблаговременности и переинтерполированных на модельную сетку глобальных анализов NCEP. Используется разность, осредненная за 30 дней, предшествующих прогнозу от данного срока (00 или 12 ВСВ).
- Данные вблизи поверхности земли (температура и влажность на 2-х метрах, ветер на высоте 10 м) корректируются по разности модельных расчетов и данных наблюдений. Предикторы выбираются из полей WRF на 10 нижних модельных уровнях. Есть проблема с недостаточно длинными рядами прогнозов/наблюдений.

Постобработка результатов моделирования

Оценки WRF

- Для подбора оптимальных опций WRF по выбранным регионам (район Новосибирска и ЕТР) использовались 2 периода:

а) 10-31 января 2008 года

б) 12 июня - 4 июля 2008 года.

- Оценивались прогнозы от сроков 00 и 12 ВСВ, рассчитывались оценки по полям анализа и данным контактных наблюдений:

а) Данным радиозондирования (сводки TEMP и PILOT)

б) Синоптическим наблюдения (сводки SYNOP и SHIP)

- Качество прогнозов сравнивалось с качеством глобальных прогнозов NCEP, используемых в качестве граничных условий при счете WRF

Оценки

- BIAS – смещение прогноза
- RMS – среднеквадратичное отклонени
- STDEV – стандартное отклонение

Параметры

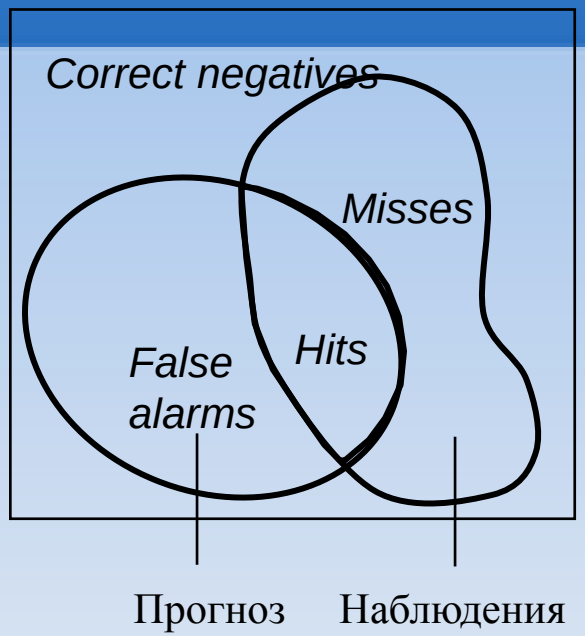
По данным синоптических наблюдений:

- Давление приведенное к уровню моря (гПа)
- Температура на высоте 2 м (^{o}C)
- Дефицит точки росы на высоте 2 м (^{o}C)
- U и V на высоте 10 м (м/с)
- Векторная ошибка ветра

По данным радиозондирования

- Высота геопотенциала (гм)
- Температура (^{o}C)
- U и V на высоте 10 м (м/с)
- Векторная ошибка ветра

Оценивание осадков



Наблюдения	Прогноз: yes	Прогноз: no
yes	hits	misses
no	false alarms	correct negatives

Probability of Detection – кол-во успешных предсказаний произошедших событий

False Alarm Ratio (FAR) – доля предсказанных событий, которые на самом деле не происходили

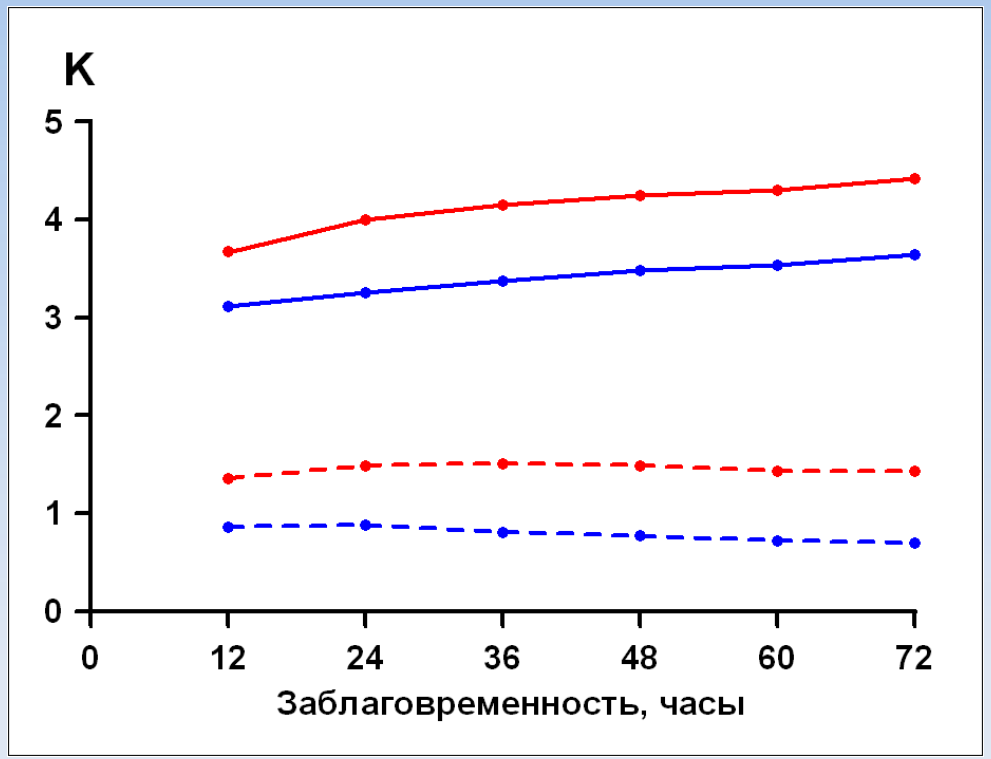
Heidke Skill Score (HSS) – количество верных прогнозов, которые были сделаны из-за случайности

Complex Quantity Index – оценка прогноза по градациям

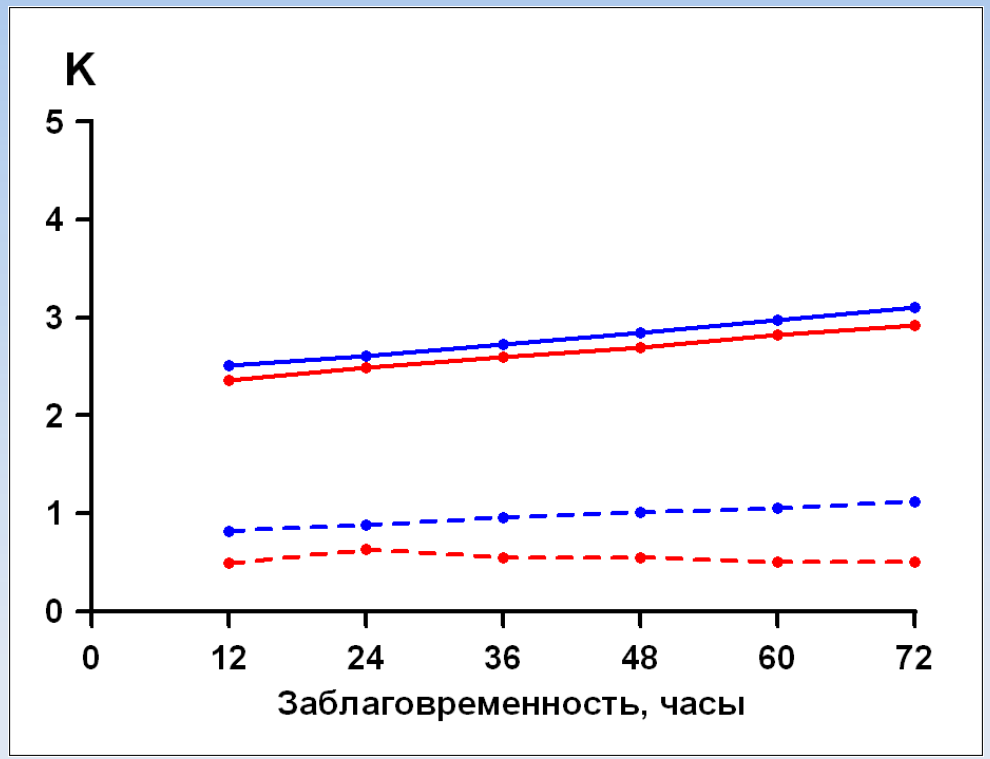
Peirce - определяет на сколько хорошо прогноз отделил произошедшие события от не произошедших.

Приземная температура по синоптическим наблюдениям

а)



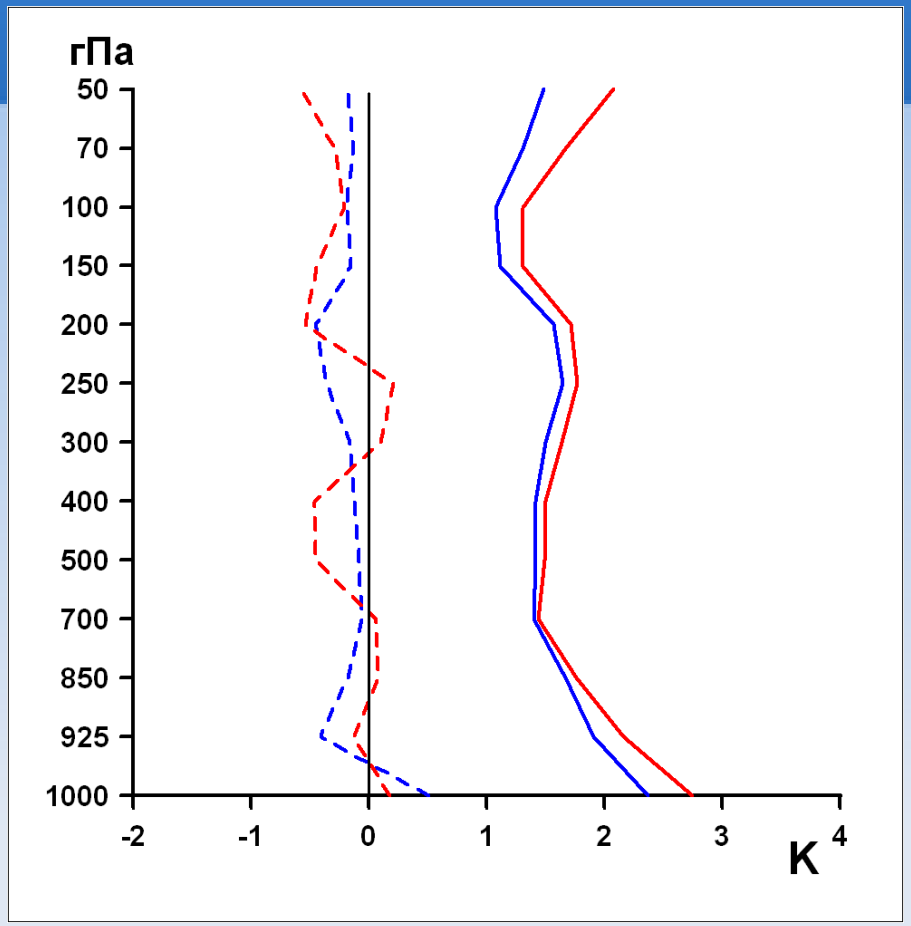
б)



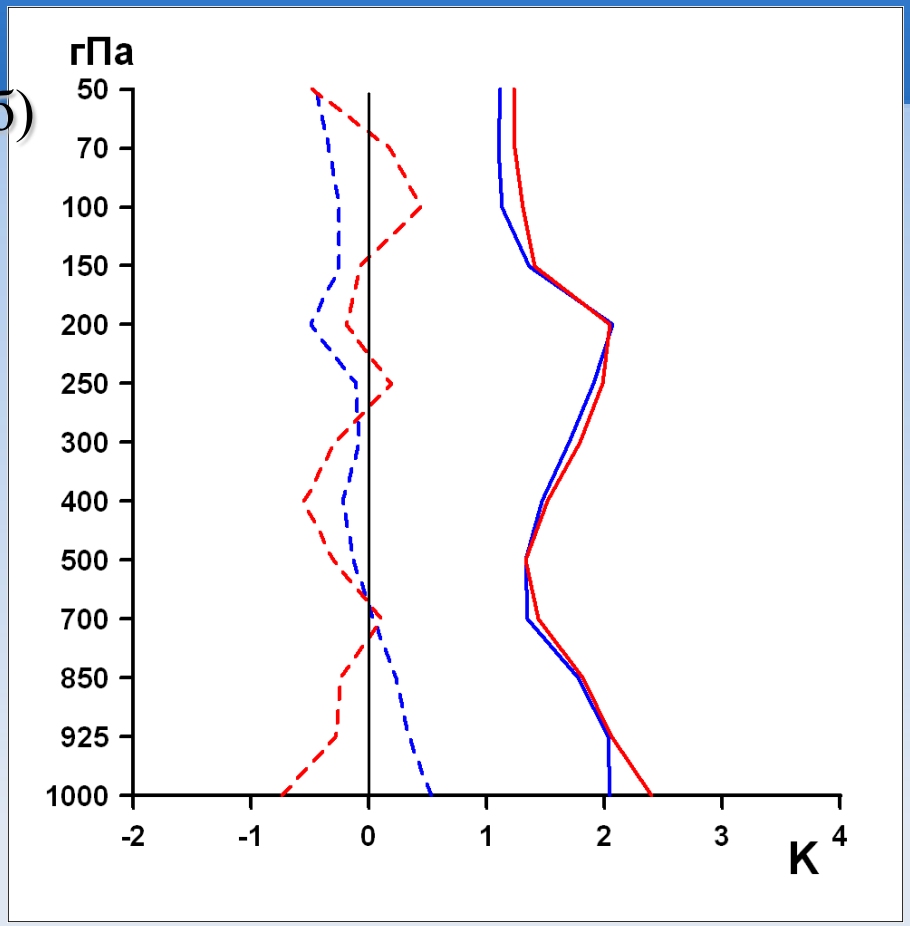
- Синие линии - оценки NCEP, красные - WRF. Сплошные линии - RMS, пунктирные - BIAS.
- а) 10-31 января 2008 года ; б) 12 июня - 4 июля 2008 года.

Температура по данным радиозондирования (заблаг. 48 ч.)

а)



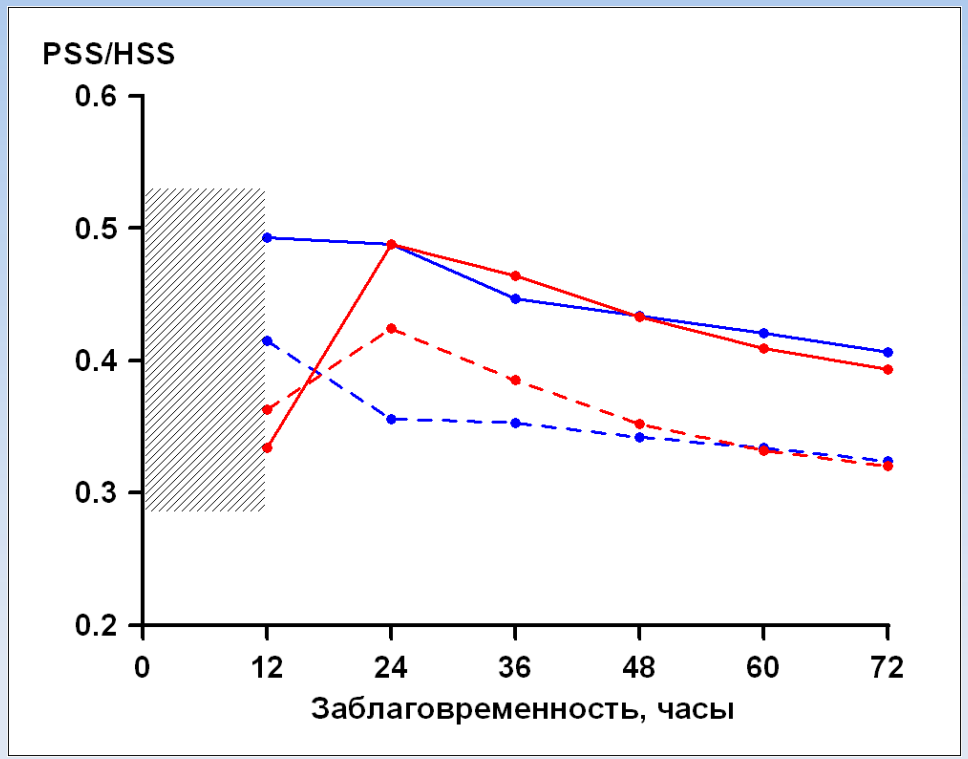
б)



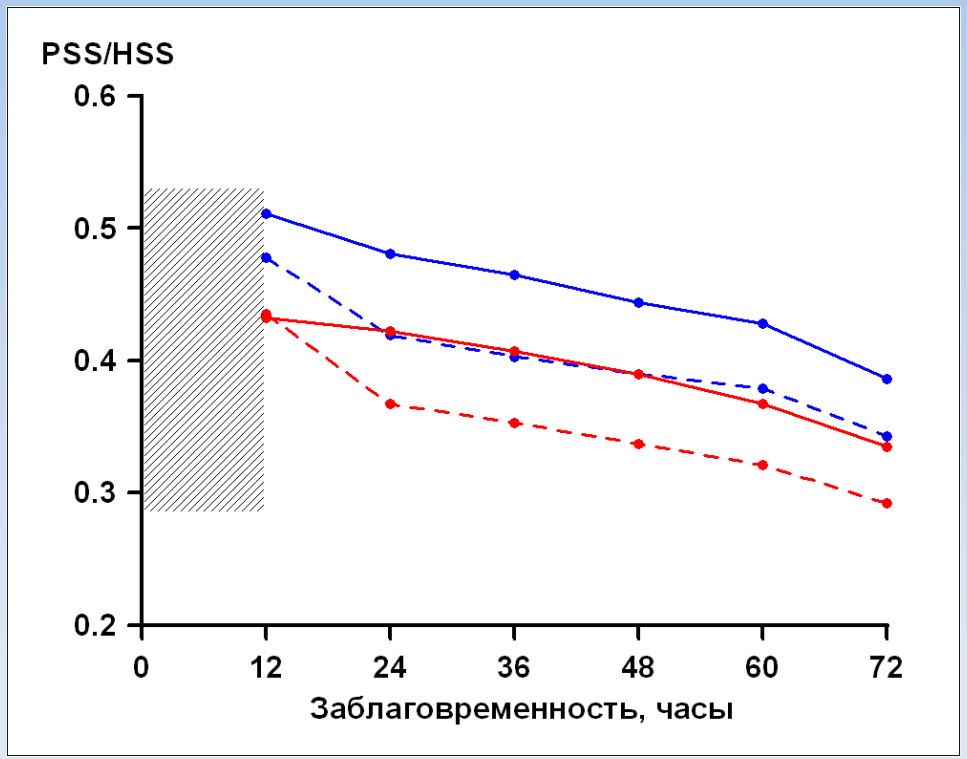
- Синие линии - оценки NCEP, красные - WRF. Сплошные линии - RMS, пунктирные - BIAS.
- а) 10-31 января 2008 года ; б) 12 июня - 4 июля 2008 года.

Ошибка прогноза факта осадков

а)



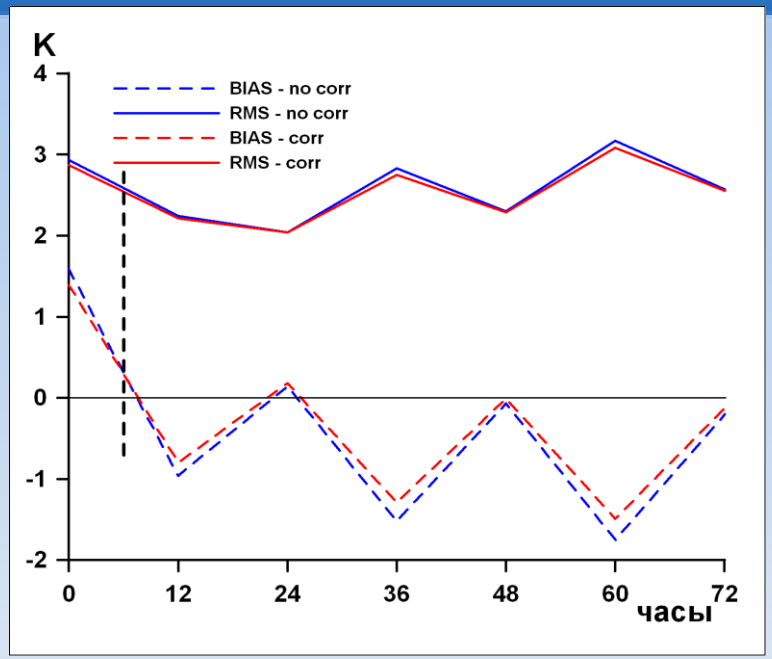
б)



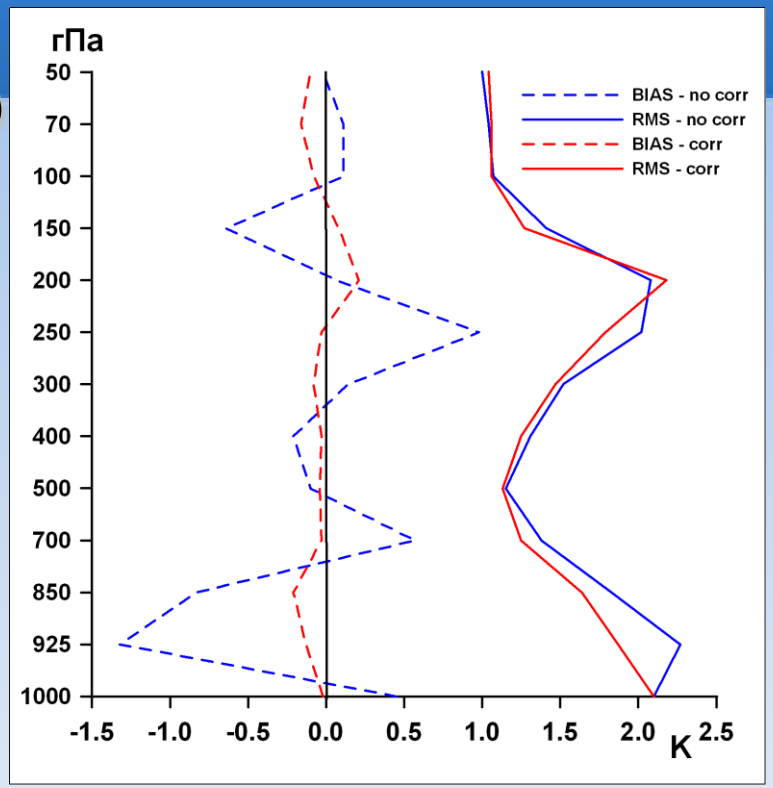
- Синие линии - оценки NCEP, красные - WRF. Сплошные линии - коэффициент Пирси, пунктирные - Хайке.
- а) 10-31 января 2008 года ; б) 12 июня - 4 июля 2008 года.

Результат статистической коррекции прогнозов

а)



б)



Оценки прогноза с применением процедуры статистической коррекции:
а) температуры на 2 м по данным синоптических наблюдений;
б) температуры по данным радиозондирования (заблаг. 48 ч.).
Период осреднения 9 июля – 17 августа 2012 года.
Синяя линия – без коррекции, красная линия – с применением коррекции

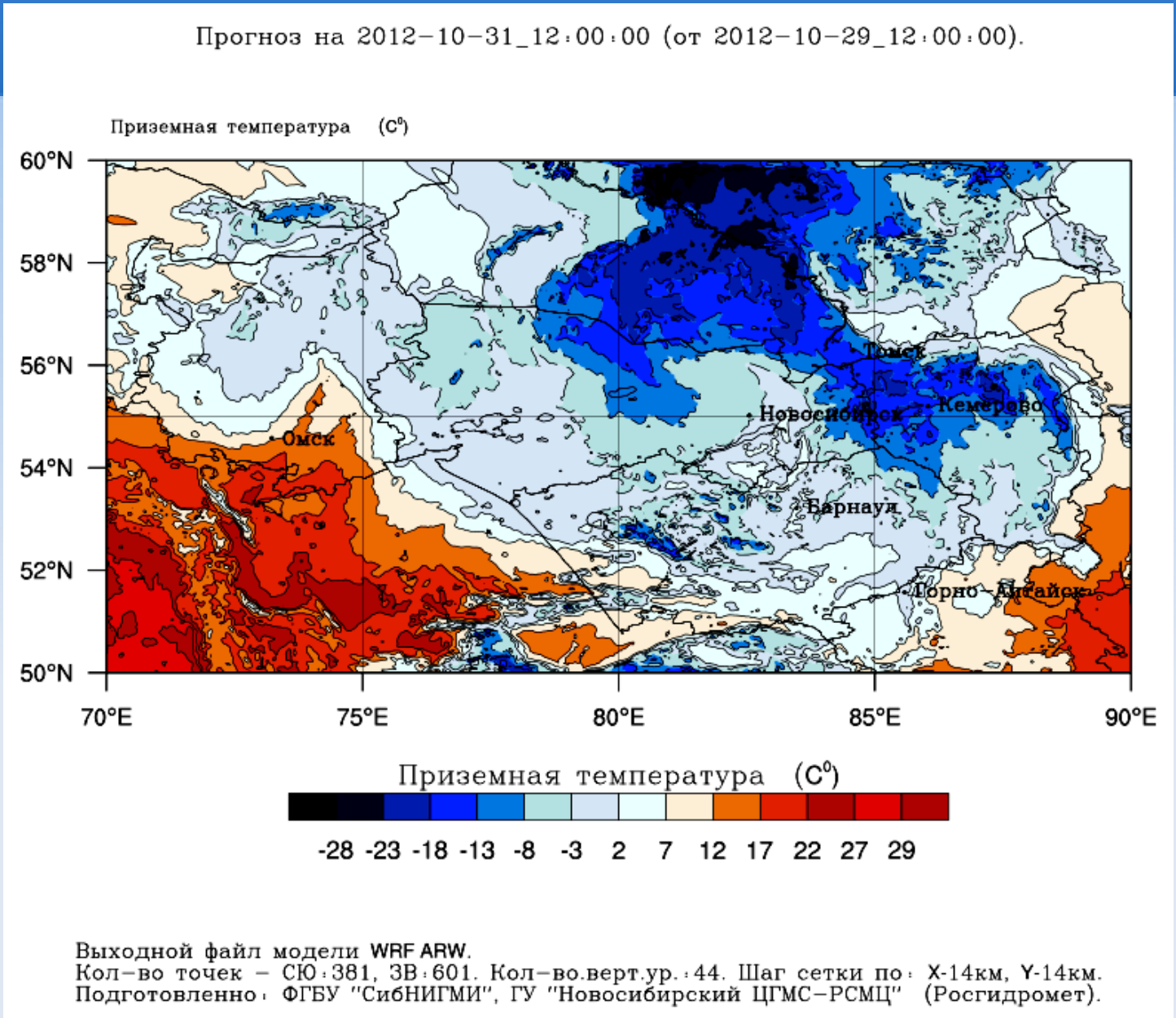
Визуализация

NCL (*NCAR Command Language*) — интерпретируемый язык визуализации научных данных, разработанный в NCAR.

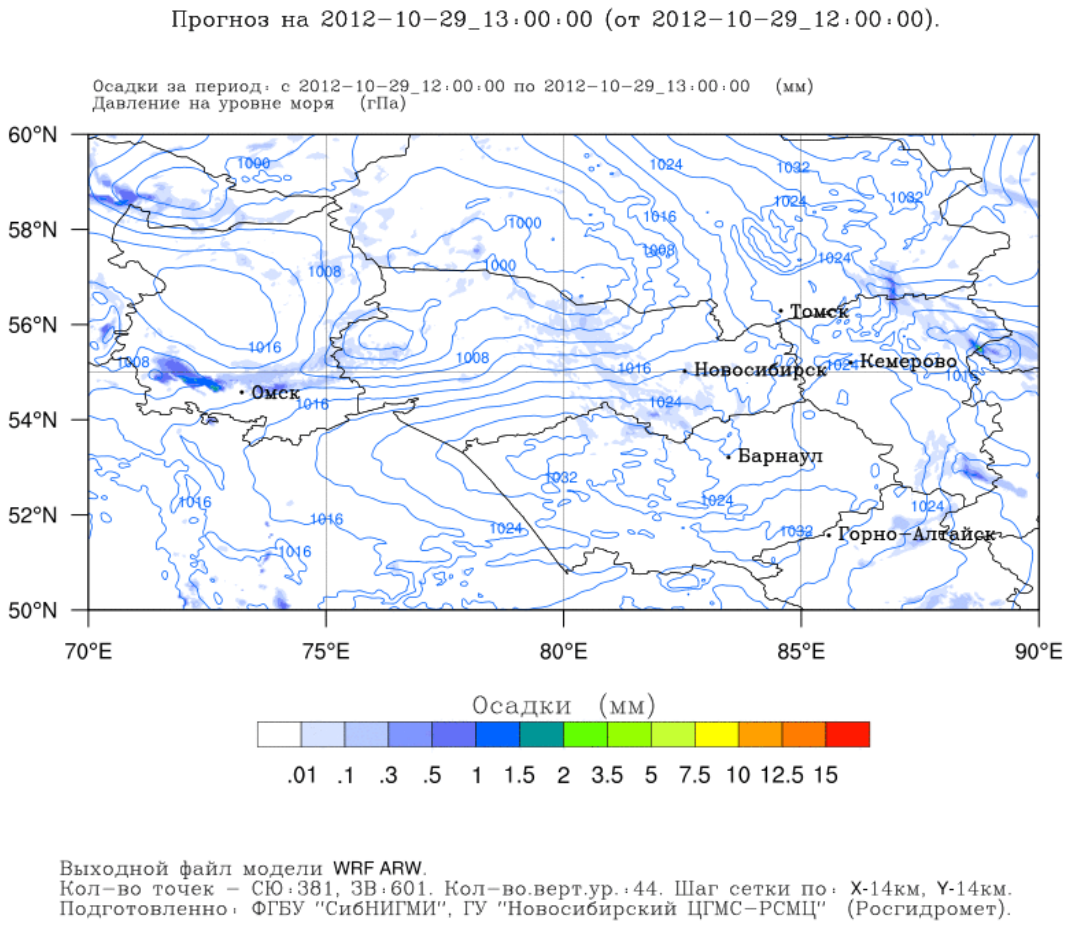
Причины использования:

- Позволяет получить визуализации высокого качества.
- Содержит готовые библиотеки для работы с выходными данными WRF ARW.
- Хорошо интегрируется с другими средствами визуализации от NCAR.
- Находится в свободном доступе. Доступен для скачивания с сайта: http://www.ncl.ucar.edu

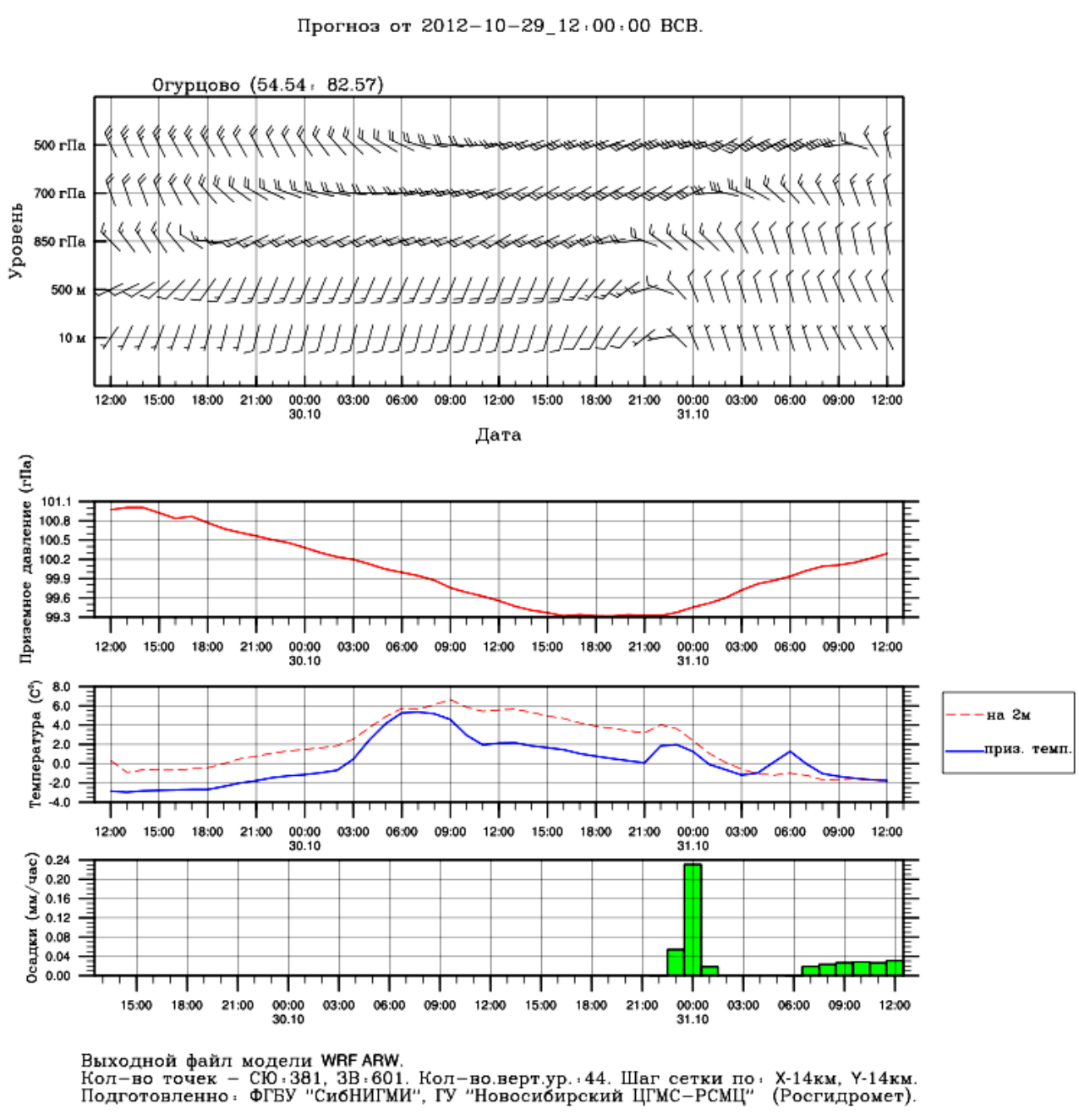
Карты


Прогноз на 2012-10-31_12:00:00 (от 2012-10-29_12:00:00).
Приземная температура (C⁰)
60°N
58°N
56°N
54°N
52°N
50°N
70°E
75°E
80°E
85°E
90°E
Томск
Новосибирск
Кемерово
Омск
Барнаул
Горно-Алтайск
Приземная температура (C⁰)
-28 -23 -18 -13 -8 -3 2 7 12 17 22 27 29
Выходной файл модели WRF ARW.
Кол-во точек - СЮ:381, ЗВ:601. Кол-во.верт.ур.:44. Шаг сетки по: X-14км, Y-14км.
Подготовленно: ФГБУ "СибНИГМИ", ГУ "Новосибирский ЦГМС-РСМЦ" (Росгидромет).

Анимации


Прогноз на 2012-10-29_13:00:00 (от 2012-10-29_12:00:00).
Осадки за период: с 2012-10-29_12:00:00 по 2012-10-29_13:00:00 (мм)
Давление на уровне моря (гПа)
60°N
58°N
56°N
54°N
52°N
50°N
70°E
75°E
80°E
85°E
90°E
Томск
Кемерово
Новосибирск
Омск
Барнаул
Горно-Алтайск
Осадки (мм)
.01 .1 .3 .5 1 1.5 2 3.5 5 7.5 10 12.5 15
Выходной файл модели WRF ARW.
Кол-во точек - СЮ:381, ЗВ:601. Кол-во.верт.ур.:44. Шаг сетки по: X-14км, Y-14км.
Подготовленно: ФГБУ "СибНИГМИ", ГУ "Новосибирский ЦГМС-РСМЦ" (Росгидромет).

Метеограммы



Заключение

Схема работы программного комплекса

- Осуществляется ежедневный автоматизированный расчёт прогнозов погоды.
- Запуск происходит в 00.30 UTC.
- Общая продолжительность цикла работы (при счёте прогноза на 60 ядрах) ~ 3,5 часа.
- Визуализации результатов моделирования доступны на официальном сайте СибНИГМИ в разделе “Продукция”: **http://sibnigmi.ru**

Благодарю за внимание!