

Опыт применения численных прогнозов по модели WRF-ARW для метеорологического обслуживания авиации в Дальневосточном регионе России

Часть I. Проект методических рекомендаций

Е.М. Вербицкая, ФГБУ «ДВНИГМИ»,
ФГБУ «Дальневосточное УГМС»

Доклад на методическом совещании
«Использование ЧПП и Веб-ГИС-технологий в практике авиационного
метеорологического обеспечения» 11-13 ноября 2017 года г. Новосибирск

В докладе представлены

Часть I.

- Общее описание систем ЧПП и их особенности.
- Схема проекта «Методических рекомендаций по использованию продукции численных прогнозов погоды» для авиационных метеорологов.

Часть II.

- Опыт применения численных прогнозов по модели WRF-ARW для метеорологического обслуживания авиации в Дальневосточном регионе России.
- Проект Веб-ГИС-технологии представления продукции ЧПП РСМЦ «Хабаровск» для авиационных метеорологов

Численные прогнозы погоды

Под численными прогнозами погоды (ЧПП) понимается прогнозирование характеристик состояния атмосферы посредством гидродинамических моделей.

Строго говоря в понятие ЧПП входят так же статистические и физико-статистические методы, которые так или иначе используются в системах ЧПП.

Численные прогнозы погоды

Современные методы прогнозирования погодных условий, элементов и явлений погоды основываются на информации, получаемой в результате расчета **численных моделей атмосферы**.

Это утверждение актуально уже около 30 лет, но на различных этапах этого периода объемы и качество информационного обеспечения процесса прогнозирования погоды модельными данными было различным:

Конец 80-х – начало 90-х гг – достаточно хорошее прогнозирование полей метеоэлементов в свободной атмосфере.

Вторая половина 90-х – начало 2000 гг – повышение качества прогноза приземных полей; развитие методов прогноза осадков; переход к более высокому пространственному разрешению (с развитием вычислительной техники).

В последнее десятилетие особое внимание уделялось описанию физических процессов: фазовые переходы влаги; параметризация приземного слоя, тепло- и влагообмен с подстилающей поверхностью, подробное описание свойств подстилающей поверхности, детализация описания радиационных процессов и т.д.

Гидродинамические модели прогноза

Все **гидродинамические модели прогноза атмосферных параметров** основаны на численном (с помощью ЭВМ) решении уравнений, описывающих эволюцию состояния атмосферы.

Это:

1) три уравнения движения: $dV/dt = F(\rho, p, \Omega, x, y, z, t)$

$$dU/dt = F(\rho, p, \Omega, x, y, z, t)$$

$$dw/dt = F(\rho, p, \Omega, x, y, z, t)$$

для расчета компонент скорости перемещения воздушной массы;

2) уравнение баланса массы (неразрывности): $dp/dt + Fp(pV) = 0$,

так как атмосфера считается сплошной средой, а числовые характеристики её состояния (давление, температура, влажность, скорость) считаются непрерывными в пространстве и во времени.

3) уравнение притока тепла $dT/dt = FT(x, y, z, t)$,

4) уравнение баланса влаги $dq/dt = Fq(x, y, z, t)$

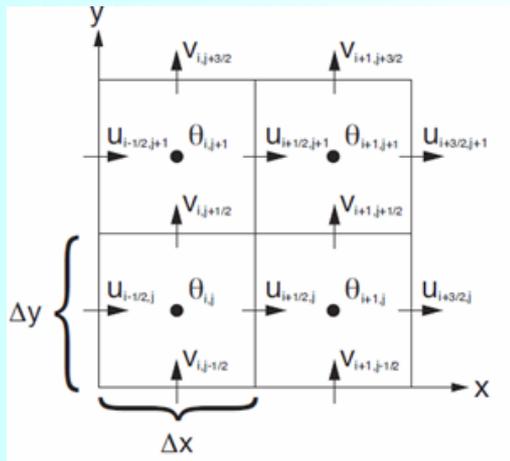
И **ряд диагностических соотношений**, для описания различных физических процессов, влияющих на значения атмосферных параметров.

Для численного решения

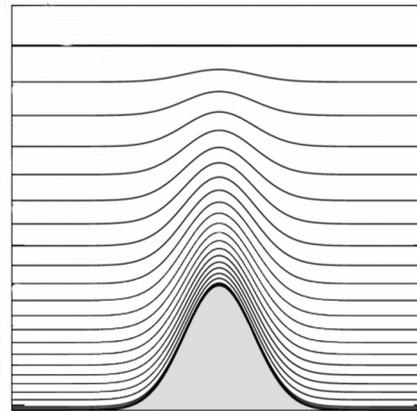
Все уравнения модели записываются в узлах прогностической сетки.

Как правило, это сетки с равномерными шагами по горизонтали и неравномерным по вертикали.

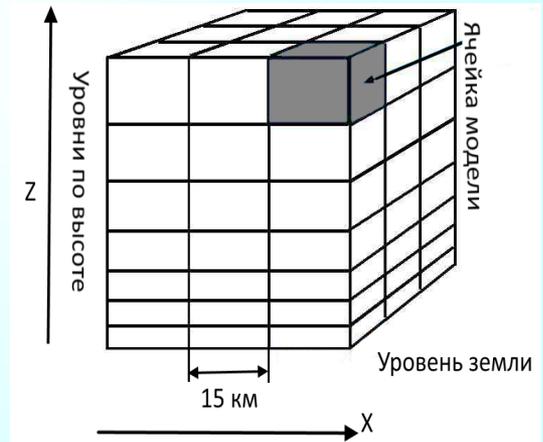
У земли расстояние между вертикальными уровнями меньше, а в свободной атмосфере - больше. Схематично это представлено на рисунке.



горизонтальное представление



вертикальная структура



трехмерное изображение.

Схема прогностической сетки.

Модели различаются

- пространственным охватом (глобальные и региональные);
- методами решения (этот вопрос мы не рассматриваем);
- шагом по пространству (горизонтальное и вертикальное разрешение);
- физическим наполнением;
- способом описания физических процессов.

По пространственному охвату модели делятся на **глобальные** и **региональные**.

Глобальные модели рассчитываются по всему земному шару (глобусу).

Региональные модели считаются по ограниченной территории.

Для расчета прогнозов по **глобальным моделям** необходимы **начальные данные**, которые получают посредством систем усвоения данных наблюдений.

Для расчета **региональных моделей** кроме начальных данных нужны еще данные на границах прогностической сетки на весь период прогноза.

Совокупность начальных и граничных данных региональных моделей называют **«исходными данными»**.

Для региональных моделей исходные данные берут из глобальных моделей.

Качество модельных прогнозов

зависит от:

- **собственно модели**: системы уравнений и её численной реализации;
- **пространственного разрешения** (горизонтального и вертикального);
- **физического наполнения**;
- способов **описания физических процессов** (параметризации, в которые часто входят физические константы, полученные статистически);
- **заблаговременности** прогнозов;
- **качества начальных данных** - степени соответствия начальных данных реальному состоянию атмосферы в начальный момент времени.

Качество начальных данных зависит от

- **точности** данных **наблюдений**,
- **объемов** усваиваемой **информации** - в различные сроки поступают разные объемы данных,
- **системы усвоения** - способа определения значений метеопараметров в узлах сетки прогноза в срок наблюдений по данным, измеренным в пунктах и поступающим от иных наблюдательных платформ, неравномерно распределенных в пространстве.

Модели продуцируют

поля метеоэлементов в узлах прогностической сетки на вертикальных уровнях модели. Это только те числовые характеристики состояния атмосферы, которые входят в систему уравнений модели или определяются по диагностическим соотношениям, входящим в модель.

Это, как правило,

- *компоненты скорости ветра,*
- *температура воздуха,*
- *фактическое влагосодержание,*
- *давление или геопотенциал.*

Это основа. В разных моделях возможны различные варианты дополнительных полей, получаемых из диагностических соотношений.

Например, практически во всех современных моделях есть блок прогноза осадков, который рассчитывается не на каждом шаге прогноза, а включается периодически (например, 1 раз в час) и *поле осадков* является так же *продукцией модели*.

Численные прогнозы погоды

Все остальные параметры состояния атмосферы

получают из модельных данных расчетно-логическими методами.

Например, температура точки росы, дефицит точки росы, относительная влажность и др., т.е. поля метеорологических параметров, которые часто используются в практических приложениях, но не являются основными характеристиками состояния атмосферы с физической точки зрения и относительно которых не записываются уравнения.

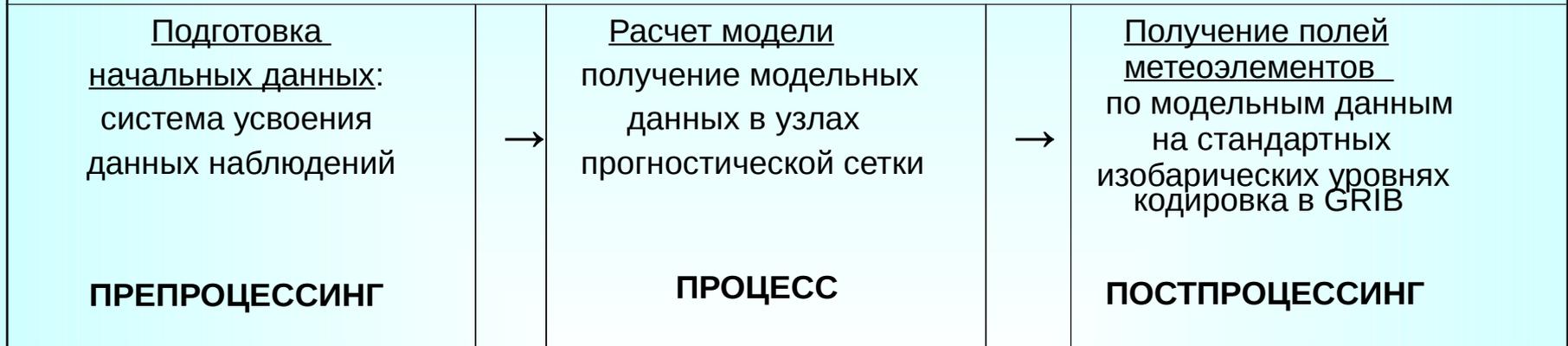
В современных технологиях ЧПП поля наиболее употребляемых на практике метеорологических параметров рассчитываются по модельным данным в прикладной компоненте технологии, называемой **постпроцессингом**.

Постпроцессинг содержит программные реализации различных методов получения полей метеорологических параметров в узлах прогностической сетки по модельным данным, предварительно переведенным с модельных уровней на стандартные изобарические поверхности.

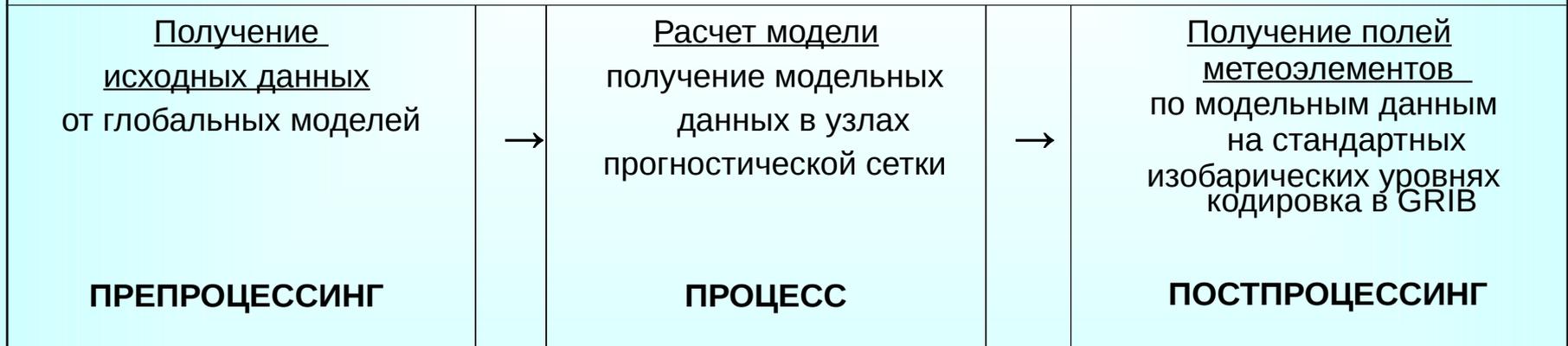
В постпроцессинг входит так же компонента **кодировки** всей выходной продукции (модельной и постпроцессинга) в код **GRIB**.

Схема технологий ЧПП

ГЛОБАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ



РЕГИОНАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ



ВСЕ ЭТО В СОВОКУПНОСТИ НАЗЫВАЕТСЯ СИСТЕМОЙ ЧПП

Постпроцессинг

В технологические реализации современных моделей встроен весьма развитый постпроцессинг, генерирующий широкий спектр полей метеорологических параметров, список которых имеет несколько десятков наименований.

Это может быть:

- балл облачности (общий и по ярусам),
 - высота верхней и нижней границ облачности,
 - толщина снежного покрова,
 - температура верхнего слоя почвы,
 - метеорологическая дальность видимости
- и др.

В постпроцессинге может быть встроено несколько методов расчета одного и того же метеопараметра.

Прогнозы в пунктах

Прогнозы элементов и явлений погоды в пунктах определяются по прогностическим данным в узлах модельной сетки.

Интуитивно ясно и опыт нашей работы с различными моделями показывает, что при работе с данными, представленными на сетке *с большим горизонтальным шагом* (50 км и более) лучше выполнять *интерполяцию* данных из окружающих узлов в пункт прогноза.

При малом шаге по пространству (менее 20 - 30 км) лучше *использовать значение в ближайшем узле сетки* с учетом его высоты и расстояния до пункта прогноза.

Из близлежащих узлов, окружающих пункт прогноза лучше выбирать узел, близкий по физико-географическому положению.

Для более точного прогноза погоды в пунктах обычно применяют схемы статистической интерпретации гидродинамического прогноза (СГИП, **MOS**).

Это отдельные технологии, разрабатываемые научными институтами, здесь мы их не рассматриваем.

Методические рекомендации, разрабатываемые для авиационных метеорологов относятся к использованию именно **модельных данных** на практике.

Численные прогнозы погоды

В настоящее время ведущие метеорологические центры (Вашингтон, Реддинг, Экзетер, Токио и др.) рассчитывают весьма развитые глобальные модели **с высоким пространственным разрешением (до 13 – 40 км)**.

Но при кодировании в **GRIB** для передачи информации по **ГСТ** используется выборка из прогностической сетки **с шагом 1,25°**, что составляет около **125 км** по **60°-ой параллели** и около 140 км по меридиану.

Это существенно обедняет информационное содержание продукции моделей.

Тем не менее, именно эти данные поступают по каналам связи в прогностические подразделения учреждений Росгидромета.

Они используются в программно-технологических комплексах (ПТК) типа ГИС-Метео для построения полей метеоэлементов, фронтального анализа, расчета прогнозов в пунктах и по территории.

Эти расчеты выполняются по встроенным в ПТК компонентам, реализующим различные методы диагноза, расчета и прогноза метеопараметров (построение прогностических зондов, прогноз гроз, шквалов, сильных ветров и т.д.).

Численные прогнозы погоды

Если пункт прогноза (**п.п.**) попадает в узел сетки, в которой поступает прогностическая продукция от метеорологических центров или расположен близко к узлу, то качество прогнозов может быть высоким - сравнимым с качеством модели.

Если **п.п.** расположен в удалении от узлов сетки, то качество прогнозов (расчетов) для таких пунктов существенно ниже, особенно в местностях со сложным рельефом и физ. географией (гористая местность, узкие заливы морского побережья, внутренние водоемы и т.д.).

Определить местоположение пункта прогноза относительно узлов сетки несложно, т.к. сетка регулярная широтно-долготная.

Это можно легко рассчитать разделив координаты пункта прогноза, выраженные в градусах, на величину шага сетки ($1,25^\circ$) и вычесть целую часть.

В методических рекомендациях будет подробно изложен алгоритм расчета минимального расстояния до ближайшего узла сетки и определение местоположения узлов окружения относительно п.п. (расположение п.п. относительно узлов сетки).

Численные прогнозы погоды

Для метеорологических характеристик, рассчитываемых в постпроцессинге, **качество прогнозов** зависит от встроенного метода расчета прогнозируемой величины (например, балл облачности, видимость и др.) и от степени применимости этого метода на рассматриваемой территории.

Для прогноза явлений погоды по схемам, встроенным в ПТК (типа ГИС-Метео), качество прогнозов зависит не только от качества модельных данных и степени удаленности пункта прогноза от узлов сетки, но и от собственно метода прогноза, степени его применимости в данных физико-географических условиях, а так же от степени адекватности программной реализации метода в ПТК самой схеме прогноза.

Таким образом, при использовании продукции ЧПП, поступающей по каналам связи в коде GRIB, с помощью каких-либо ПТК* для диагностических расчетов (зонд, др.) или прогнозов элементов и явлений погоды в пунктах необходимо провести **оценку качества** получаемых результатов и **использовать** её **в прогностической работе**.

*в учреждениях Росгидромета наиболее используемым является комплекс ГИС-Метео

Численные прогнозы погоды

Если в рассматриваемом пункте провести оценку невозможно (напр., нет наблюдений), то лучше использовать значения и проводить расчеты в близлежащих узлах прогностической сетки, а далее ориентироваться по расстоянию до узлов, различию в физ.географическом положении узлов и п.п. и динамике текущих процессов.

Кроме того, необходимо **знать общие характеристики качества модельных прогнозов** основных метеорологических величин (давление, температура, ветер, осадки) на рассматриваемой территории по каждой используемой модели и ориентироваться на них.

Синоптики УГМС ДВ-региона, как правило, уже «наработали» интуитивное представление о свойствах моделей, продукцией которых они пользуются.

Обобщая их отзывы и наши исследования можно сказать, что на континентальной части **Восточной Сибири и Дальнего Востока России** предпочтительна модель **США** (Вашингтон), в **прибрежных районах ДВ-региона** лучше использовать **Экзетер** (Лондон), а по **акватории Дальневосточных морей** – продукцию **Токио**.

По территории **Забайкалья** синоптики часто пользуются картами Южнокорейского метеорологического агентства (**КМА**), доступными по Интернету.

Численные прогнозы погоды

Расчет оценок качества прогнозов для своей территории можно выполнять самим, но лучше заказать в региональные НИУ Росгидромета (ДВНИГМИ, Сиб.НИГМИ).

При этом нужно учитывать следующее:

- 1) оценки необходимо считать в пунктах наблюдения;
- 2) у всех метеорологических величин и числовых характеристик их качества есть сезонный ход, ярко выраженный на территории Сибири и Дальнего Востока России, поэтому оценки следует считать по интервалу времени в полный год;
- 3) у многих метеорологических величин и числовых характеристик их качества прослеживается суточный ход, при этом вариации значений числовых характеристик качества прогнозов по срокам часто зависят не только от заблаговременности прогноза, но и от времени суток, на которое дается прогноз.

Так различия в оценках качества прогнозов приземных значений давления и температуры заблаговременностью 9, 12, 15, 18 часов часто существенно зависят от местного времени суток, на которое дается прогноз.

Численные прогнозы погоды

Оценки качества прогнозов по различным моделям и их сравнение время от времени публикуется в Информационных сборниках Росгидромета.

Специальные исследования по этому вопросу, к сожалению, выполнялись только по Европейской территории России*.

По территории Сибири и Дальнего Востока есть публикации о результатах испытаний модельных прогнозов**. Публикуется такая информация так же в Трудах ДВНИГМИ. По территории Западной Сибири – на сайте Сиб.НИГМИ.

Качество прогнозов по всем моделям, продукцией которых пользуются прогнозисты Росгидромета, на сегодняшний день **имеет** некоторые **общие черты** на территории Восточной Сибири и Дальнего Востока России:

1. Выраженный **сезонный ход** качества прогнозов **приземной температуры и давления** - качество прогнозов хорошее в теплый период года и резко падает к холодному периоду;
2. Качество прогнозов **приземного ветра на континенте лучше, чем на морском побережье**;
3. Качество прогноза **осадков ниже** в те периоды года, время суток и на тех территориях, когда **и где преобладают конвективные осадки**.

-

*

**

Методические рекомендации по использованию ЧПП (для авиационных метеорологов)

Структура Методических рекомендаций.

1. Введение
 2. Что продуцируют модели.
 3. Что можно получить из модельной продукции
 4. Формы представления прогнозов
 5. Перечень продукции модели WRF-ARW («Хаб-15») для метеорологического обслуживания авиации.
 6. Особенности продукции ЧПП для ДВ-региона.
 7. Оценки качества прогнозов
 8. Как пользоваться оценками
- Приложения.

Методические рекомендации по использованию ЧПП

1. Введение будет содержать общую характеристику систем ЧПП, аналогично изложенному в докладе. Здесь рассматриваются вопросы: Что такое ЧПП. Краткое описание моделей.

2. Что продуцируют модели - изложение аналогично докладу.

3. Что можно получить из модельной продукции

Какие расчеты выполняются на базе модельных данных, какие методы используются. Источники погрешностей и т.д.

4. Формы представления прогнозов.

4.1. Поля метеозаэлементов и специализированных параметров используются для общей оценки обстановки на обслуживаемой территории, в окрестности аэропортов и по трассам. Дается перечень модельных полей и полей метеозаэлементов, получаемых на базе модельной продукции, методы расчета, рекомендации к использованию.

4.2. Прогнозы в пунктах .

Метеограммы, как наглядное представление временного хода совокупности элементов погоды и метеорологических параметров на период прогноза, дающие полную характеристику ожидаемого изменения погодных условий.

Таблицы. В таблицах представляются числовые значения метеозаэлементов в пунктах на период прогноза, представленные на метеограммах в виде графиков, значков или цветовой гаммой.

Методические рекомендации по использованию ЧПП

5. Перечень продукции модели WRF-ARW для метеорологического обслуживания авиации.

5.1. Полный перечень.

5.2. Характеристики и особенности каждой компоненты:

- способ расчета (автор, разработчик);
- способ представления;
- способ оценки и характеристики качества прогнозов.

6. Особенности продукции ЧПП для ДВ-региона:

- заблаговременность не ранее +06 часов (причины);
- на каждый срок своя заблаговременность (пояснения);
- зависимость качества прогнозов от заблаговременности;
- суточный ход оценок качества (где есть);
- сезонный ход оценок качества и его особенности для каждой территории ДВ-региона;
- зависимость качества прогнозов от физико-географического положения пункта (территории).

Методические рекомендации по использованию ЧПП

7. Оценки качества прогнозов:

- какие оценки считаем сейчас;
- какие планируем считать еще;
- какие параметры не оцениваются и почему;
- представление обобщенных оценок и их анализ.

8. Как пользоваться оценками.

- уровень статистической обеспеченности;
- для авиационных прогнозов важны оценки по каждому пункту для каждого сезона (месяца) года;
- представление оценок в WEB-технологии Дальневосточного УГМС.

Приложения

Размещаются таблицы оценок качества прогнозов всех основных элементов погоды (температура, ветер, давление QNH, осадки), рассчитанные по модели WRF-ARW (версия «Хаб-15») за 2014 – 2016 гг.

Конец I-ой части
Спасибо за внимание