

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 $dq/dt = Fq(x, y, z, t)$

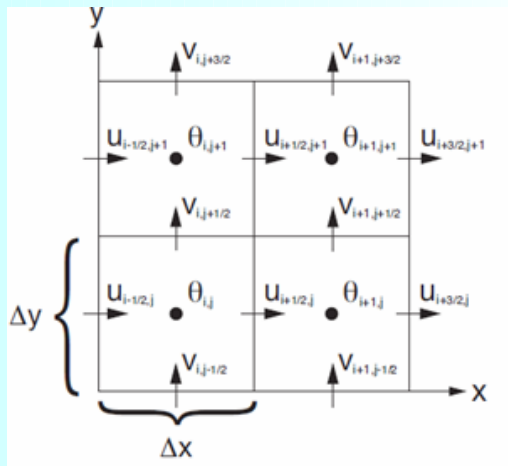
И **ряд диагностических соотношений**, для описания различных физических процессов, влияющих на значения атмосферных параметров.

Для численного решения

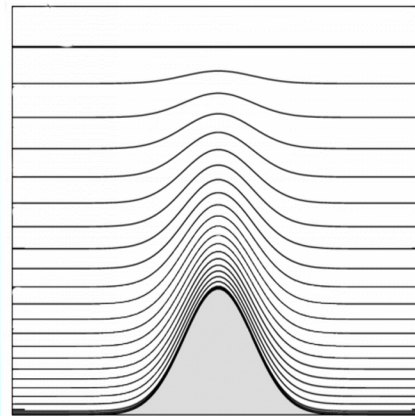
Все уравнения модели записываются в узлах прогностической сетки.

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

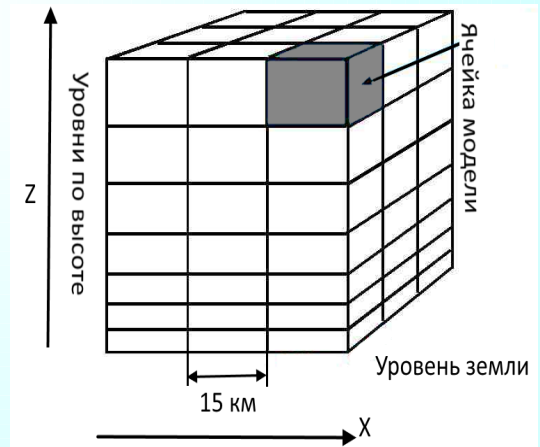
У земли расстояние между вертикальными уровнями меньше, а в свободной атмосфере - больше. Схематично это представлено на рисунке.



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.

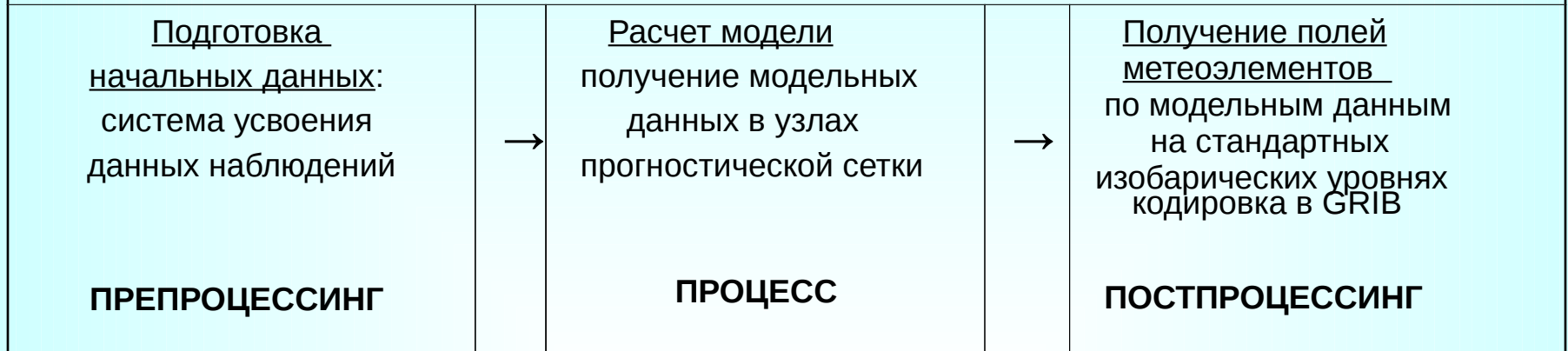
В современных технологиях ЧПП поля наиболее употребляемых на практике метеорологических параметров рассчитываются по модельным данным в прикладной компоненте технологии, называемой **постпроцессингом**.

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.

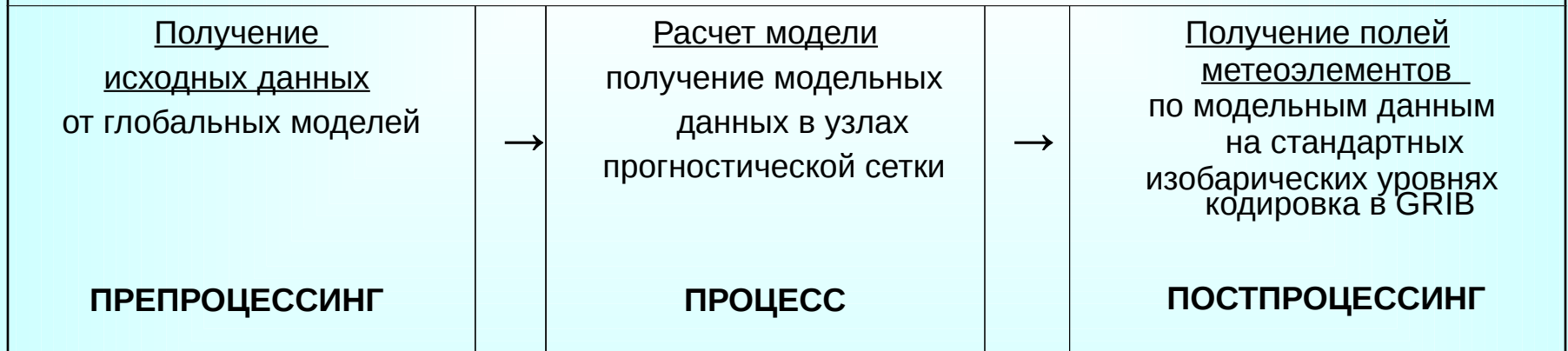
В постпроцессинг входит так же компонента **кодировки** всей выходной продукции (модельной и постпроцессинга) в код **GRIB**.

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