

**Методические вопросы развития технологии гидродинамического прогнозирования на основе использования данных дистанционного зондирования атмосферы**

А.Н. Ефременко<sup>1</sup>, Ю.Е. Бунина<sup>1</sup>, Д.М. Караваев<sup>1</sup>, Н.О. Моисеева<sup>2</sup>, В.В. Черный<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13, [dm.karavaev@mail.ru](mailto:dm.karavaev@mail.ru)

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации, Санкт-Петербург, ул. Пилютов, 38, [natali.ziadinova@yandex.ru](mailto:natali.ziadinova@yandex.ru)

*Обсуждаются вопросы развития технологии гидродинамического прогнозирования для решения задач гидрометеорологического обеспечения и перспективы использования данных наземных измерительных комплексов, включая средства дистанционного зондирования атмосферы.*

*Discusses the development of hydrodynamic technology forecasting for solving the problems of hydrometeorological support and prospects of applications of ground-based and satellite-based remote-sensing tools.*

**Введение**

Для прогнозирования полей метеорологических величин в настоящее время все более актуальным представляется применение численных методов гидродинамического прогнозирования, основанных на решении системы уравнений гидродинамики при заданных начальных и граничных условиях [1]. Развитие технологии гидродинамического прогнозирования связывается не только с совершенствованием численных методов и алгоритмов при использовании более производительных вычислительных комплексов, но и с применением современных средств и методов метеорологических измерений совместно с методами усвоения разнородных данных наблюдений в моделях численного гидродинамического прогнозирования полей метеорологических величин и явлений.

Основной задачей работы является анализ моделей мезомасштабного гидродинамического прогнозирования полей метеорологических величин и явлений, перспектив развития технологий усвоения разнородной гидрометеорологической информации, в том числе от современных средств (наземных и спутниковых) зондирования атмосферы и земной поверхности.

**Методы прогнозирования и мезомасштабные модели**

В области разработки методов прогнозирования погоды сформировались три подхода: синоптический, статистический и гидродинамический [2]. В настоящее время синоптические методы широко используются в оперативной практике прогнозирования, однако эффективность их использования зависит от опыта синоптика. К достоинствам статистических методов следует отнести объективность установленных статистических связей при соблюдении условия репрезентативности выборки исходных данных, широкий перечень прогнозируемых метеорологических величин. К недостаткам статистических методов следует отнести необходимость накопления значительных по объему архивных данных, которые позволяют получить статистически значимые параметры связей между факторными (предикторами) и результативными переменными (предиктантами), необходимость построения физической модели атмосферного процесса или явления для отбора предикторов, резкое снижение точности полученных статистических связей при переходе от

обучающей к независимой выборке. Бум интенсивного развития испытывают гидродинамические методы, позволяющие производить предвычисление прогностических значений полей и параметров атмосферы путем численного интегрирования по времени уравнений гидродинамики и термодинамики атмосферы при наблюдаемых начальных и выбранных граничных условиях. Несмотря на значительные успехи в области развития гидродинамических методов прогнозирования, остается целый ряд нерешенных проблем: модели общей циркуляции атмосферы применимы лишь для установившегося движения воздушных масс; при заданных краевых условиях возможно существование нескольких стационарных решений системы уравнений гидротермодинамики; необходима параметризация процессов подсеточного масштаба, что вносит дополнительные ошибки.

Дальнейшие перспективы развития прогнозирования атмосферных процессов и явлений связаны с внедрением в оперативную практику метеорологических подразделений технологий мезомасштабного краткосрочного прогноза погоды [4].

В настоящее время прогностические центры зарубежных стран и Гидрометцентр РФ разработали ряд мезомасштабных моделей атмосферы, характеристики которых рассматриваются в [1,3]. В Европе известны три основных метеорологических консорциума *ALADIN*, *COSMO*, *HIRLAM* ([www.hirlam.org](http://www.hirlam.org)). С 2011 г. для метеорологического обеспечения различных территорий в России функционирует негидростатическая модель мезомасштабного краткосрочного прогноза погоды *COSMO-Ru*. В частности, для метеорологического обеспечения Центральной и Восточной Европы, Урала и части Западной Сибири используется *COSMO-Ru7* с шагом 7 км, заблаговременность прогноза 78 ч. Модель *COSMO-Ru2* использовалась во время проведения Летней универсиады «Казань-2013» и Зимней Олимпиады «Сочи-2014». Разрешение версии *COSMO-Ru2* составляет 2.2 км, размерность сетки 420\*470 узлов, 40 уровней для атмосферы до высоты 23 км над уровнем моря и 7 слоев почвы до 7 м глубиной, заблаговременность прогноза составляет до 24 часов. Как правило, мезомасштабная прогностическая модель работает совместно с глобальной моделью для формирования исходных полей метеорологических параметров и задания граничных условий.

В течение ряда лет в РФ используется общедоступная мезомасштабная модель атмосферы *WRF* ([www.wrf-model.org](http://www.wrf-model.org)) с динамическим ядром *ARW* национального центра исследований атмосферы (NCAR, США) [3]. В состав модели входят модуль инициализации, блок параметризации физических процессов и блок усвоения данных. Для возможного усвоения данных метеорологических измерений (наземных, дистанционных) используется трехмерный вариационный метод *3DVAR*, в последних версиях поддерживается четырехмерный вариационный метод *4DVAR* и метод ансамблевого фильтра Калмана. В качестве начальных данных используются анализы и прогнозы из крупномасштабных моделей, результаты наблюдений, а также данные о рельефе и подстилающей поверхности. Например, часто используются результаты глобального прогноза национального центра прогнозов окружающей среды *NCEP*, но возможно использования данных и других прогностических центров, выпускающих в оперативном режиме ежедневные гидродинамические прогнозы погоды, например, Гидрометцентра РФ.

Использование перспективных средств получения метеорологических данных, в том числе и средств дистанционного зондирования, позволяет предположить, что решению проблемы дефицита исходных данных будет способствовать развитие систем усвоения разнородных данных наблюдений. При этом возникает ряд научно-исследовательских задач: определение принципа организации специальных региональных сетей метеорологических наблюдений на основе современных средств

наблюдений и обоснование оптимального размещения измерительных систем для удовлетворения требованиям используемой мезомасштабной модели; выбор системы усвоения данных разнородных наблюдений; доработка блока усвоения данных наблюдений для реализации возможности усвоения наибольшего числа получаемых данных. Заслуживает внимания технология, когда в качестве первого приближения начальных полей будут использоваться собственные прогностические поля (например, на основе климатических данных), скорректированные системой усвоения асиноптических данных наблюдений. При этом возрастает потребность использования собственной системы наблюдений, сбора и обработки гидрометеорологической информации. Проблема дефицита исходных данных при мезомасштабном моделировании атмосферных процессов возникает при моделировании метеорологических полей над районами, мало освещенными метеорологическими данными наблюдений. Поэтому исследования вопроса о методах постановки боковых граничных условий в условиях дефицита исходных данных, дополнительные исследования ошибок прогнозирования и разработки требований к созданию специальных, в том числе мобильных измерительных комплексов представляется особенно актуальными.

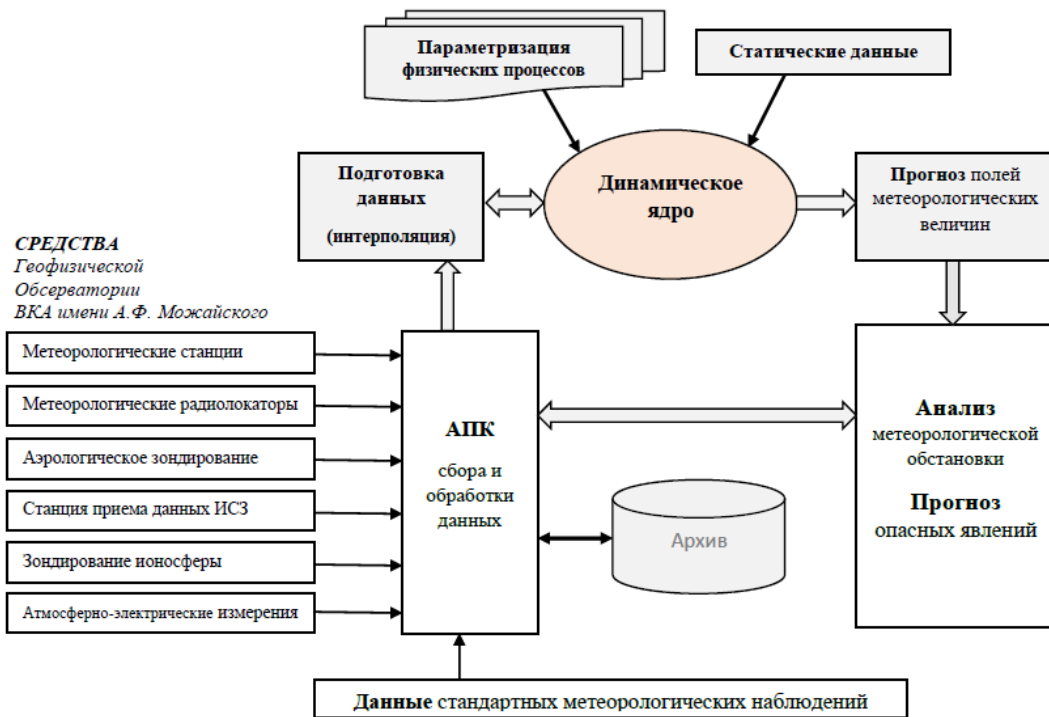


Рис. Структура аппаратно-программного комплекса.

Развитие системы оперативных геофизических наблюдений в ВКА имени А.Ф. Можайского с помощью создаваемой геофизической обсерватории в Ленинградской области [5] создает предпосылки для отработки схем усвоения разнородных данных наблюдений, стандартных наземных метеорологических, а также радиолокационных, радиометрических, атмосферно-электрических, спутниковых данных и других геофизических наблюдений, настройки и верификации численных гидродинамических моделей. Упрощенная структурная схема использования разнородных данных наблюдений для прогноза полей метеорологических величин и опасных явлений погоды показана на рисунке. Дальнейшее оснащение мезомасштабной сети наблюдений в Ленинградской области с использованием широкого набора средств дистанционного зондирования позволит совершенствовать методы анализа полей

метеорологических величин с высоким пространственным разрешением и совершенствовать технологии прогнозирования опасных явлений погоды. Модернизация пассивно-активных средств для количественного описания характеристик осадков и восстановления микрофизических характеристик облаков, развитие региональной сети радиометрического температурно-влажностного зондирования атмосферы, сети атмосферно-электрических измерений и грозопеленгации, радиолокационных средств беззондового ветрового зондирования, и других наземных гидрометеорологических и геофизических наблюдений в регионе, а также использование данных аппаратуры (МСУ, ИКФС-2, МТВЗА-ГЯ) полярно-орбитальных космических аппаратов «Метеор-М» (готовится к запуску в 2018 г. очередной КА №2-2) определяют пути улучшения информационного обеспечения численной мезомасштабной модели атмосферы, новые возможности создания в Ленинградской области уникального информационно-методического центра по исследованию атмосферы, развитию новых технологий прогноза опасных явлений погоды, исследованию мезомасштабных процессов, диагностики атмосферных фронтов, исследованию ионосферно-тропосферных связей и т.д.

### **Заключение**

Перспективные направления исследований атмосферы и развитие методов прогнозирования опасных явлений погоды связаны с совершенствованием современных технологий мезомасштабного гидродинамического прогнозирования, развития схем усвоения наземной (радиолокационной, радиометрической, грозопеленгационной, и др. геофизической), а также спутниковой информации в схемах численного прогноза при подготовке исходных данных; дальнейшим развитием сетевых методов и средств для задач наукастинга; развитием ансамблевого (вероятностного) подхода к прогнозированию.

### **Литература**

1. Ривин Г.С. Современные системы мезомасштабного прогноза погоды: состояние и перспективы: 80 лет Гидрометцентру России. - М.: Триада ЛТД, 2010.-456 с.
2. Ефременко А.Н., Моисеева Н.О., Румянцева Е.А., Черный В.В. Разработка автоматизированного метода классификации макросиноптических процессов в интересах среднесрочного прогнозирования полей метеорологических величин. «Ученые записки РГГМУ», № 47, 2017.-С.79-91.
3. Вельтищев Н.Ф., Жупанов В.Д. Численные прогнозы погоды по негидростатическим моделям общего пользования WRF-ARW и WRF-NMM. Современные системы мезомасштабного прогноза погоды: состояние и перспективы: 80 лет Гидрометцентру России.-М.: Триада ЛТД, 2010.- 456 с.
4. Девяткин А.М., Моисеева Н.О., Ременсон В.А., Удриш В.В. Современные технологии численного прогнозирования барических полей в интересах метеорологического обеспечения планирования действий войск (сил). Труды III Всероссийской научной конференции «Проблемы военно-прикладной геофизики и контроля состояния природной среды». Т.1. С-Петербург, 2014. -С.102-114.
5. Щукин Г.Г., Кулешов Ю.В., Готюр И.А., Гончаров И.В., Караваев Д.М., Жуков В.Ю., Чернышев С.В. Метеорологический полигон ВКА имени А.Ф. Можайского и его развитие. Материалы IV Всероссийской научной конференции «Проблемы военно-прикладной геофизики и контроля состояния природной среды». Санкт-Петербург, ВКА. 2016. -С.156-161.