

Информационно-измерительная система для регионального мониторинга и прогноза опасных метеорологических явлений

В.Ю. Богомолов¹, А.Я. Богушевич¹, Е.П. Гордов¹, В.А. Корольков¹,
В.Н. Крупчатников², А.А. Тихомиров^{1*}

¹Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН
634021, г. Томск, пр. Академический, 10/3

²ГУ «Сибирский региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт»
630090, г. Новосибирск, ул. Советская, 30

Поступила в редакцию 20.10.2010 г.

Рассмотрены методологические и инструментальные основы создания прототипа информационно-измерительной системы (ИИС) для мониторинга и прогноза опасных метеорологических явлений на территории площадью до нескольких сотен квадратных километров. Инструментальная часть системы включает территориально-разнесенную сеть ультразвуковых автоматических метеостанций АМК-03, передающих измеряемые значения метеовеличин на сервер сбора информации с высокой частотой обновления данных. Для прогнозирования метеорологических процессов используются мезомасштабная модель WRF и разработанный метод локального краткосрочного прогноза, основанный на применении алгоритмов калмановской фильтрации измеряемых АМК-03 значений метеовеличин. Приведены описание созданной ИИС и первые полученные результаты.

Ключевые слова: опасные метеорологические явления, прогноз, информационно-измерительная система, сеть ультразвуковых метеостанций, модели; dangerous weather phenomena, forecast, information-measurement system, ultrasonic weather stations network, models.

Введение

Региональный мониторинг метеорологических величин для прогнозирования опасных метеорологических явлений (ОМЯ), к которым относятся шквалы, перенос загрязняющих веществ при техногенных катастрофах и т.п., является до настоящего времени достаточно сложной задачей. Это связано как с редкой сетью постов наблюдения Росгидромета, так и с длительными сроками обновления информации на этой сети (через 3 ч), а также с недостаточным уровнем использования современных метеорологических моделей прогнозирования.

На основе созданных в ИМКЭС СО РАН ультразвуковых автоматических метеостанций (УАМС) АМК-03 [1] и имеющихся моделей прогнозирования WRF [2] создается информационно-измерительная система (ИИС) для обнаружения ОМЯ в регионе. Методической основой ИИС являются современные информационные и вычислительные технологии, в частности информационно-вычислительные веб-системы, обеспечивающие связь измерительных уст-

ройств с вычислительными моделями и анализ результатов моделирования (мезомасштабная метеорологическая модель WRF), а также разработанный метод локального краткосрочного прогноза основных метеорологических величин, измеряемых АМК-03 с высоким временным разрешением [3]. Предварительная информация по разрабатываемой ИИС была представлена в [4].

1. Методические основы создания системы

Одной из важных задач прогноза погоды является прогнозирование ОМЯ, локализованных на пространственном масштабе. Высокие градиенты метеорологических величин, сопровождающих эти явления (штормовой ветер, ураган, сильные осадки), зачастую не могут быть получены с помощью глобальных прогностических моделей из-за большого пространственного шага (обычно порядка 100 км), где данные эффекты сглаживаются в пространственной ячейке модели.

Первым шагом на пути решения данной проблемы является получение краткосрочного прогноза погоды с достаточно высоким уровнем достоверности для локальной территории с пространственным шагом 1 км. Для этого необходимо использовать

* Василий Юрьевич Богомолов; Александр Яковлевич Богушевич; Евгений Петрович Гордов; Владимир Александрович Корольков; Владимир Николаевич Крупчатников; Александр Алексеевич Тихомиров (tikhomirov@imces.ru).

современную региональную прогностическую модель с высоким пространственным шагом, а также систему усвоения данных измерений. В ходе решения этой задачи помимо выбора самой модели встает ряд проблем. Одна из них — мелкие масштабы исследуемых метеорологических структур. Это накладывает определенные ограничения на пространственный масштаб расчетной области модели в приземном слое. В частности, необходимы детальная карта типов землепользования и все остальные приземные граничные условия (с разрешением не более 1 км). При работе модели на области со столь мелким шагом значительно возрастает затрачиваемый машинный ресурс.

Нами была установлена и подключена в препроцессорную систему WPS-карта USGS LULC с пространственным разрешением 0,925 км, которая включает в себя 24 типа землепользования. Данная карта достаточно хорошо отображает многообразие типов землепользования, характерное для Сибирского региона, в частности для территории Западной Сибири. Для получения приземных данных (индекс шероховатости, температура почвы, альбедо) были использованы данные NCEP с таким же пространственным масштабом. Для решения проблемы минимизации затрат вычислительных мощностей был использован метод вложенных областей, который предполагает использование двух областей. Первая область — с пространственным шагом 4 км и протяженностью с запада на восток 900 км и с севера на юг 880 км и вложенная в нее область с шагом 1,333 км с соответствующей протяженностью 149 × 129 км, охватывающая посты УАМС.

Вторая проблема — это получение глобального оперативного прогноза, на основе которого препроцессорной системой WPS будут интерполироваться вертикальные граничные условия, а также начальные значения для нашей модели. Для этого в оперативном режиме используется глобальный прогноз NCEP, поступающий в СибНИГМИ Росгидромета.

Третья проблема — это усвоение данных измерений и процесс конвертирования этих данных в нужные форматы. Для усвоения данных используется метод «observation nudging», представляющий собой четырехмерное усвоение данных (FDDA). Этот метод эффективно управляет ростом ошибки модели, в то время как модель генерирует детализированные мезомасштабные структуры, которые не могут быть разрешены только на основе данных наблюдений. Результатом является улучшенная инициализация модели. «Nudging» (подтягивание) непрерывно на каждом временном шаге используется для смягчения решения модели по отношению к наблюдениям путем добавления к прогностическим уравнениям искусственных весовых слагаемых, основанных на различии между двумя состояниями. В результате находится более точное решение, чем полученное без учета данных наблюдений.

Решение модели может быть смягчено по отношению как к сеточному анализу, основанному на наблюдениях (analysis nudging), так и к отдельным наблюдениям (observation nudging, [www.mmm.ucar.](http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/workshops/WS2005/.../8-Stauffer.pdf)

[edu/wrf/users/workshops/WS2005/.../8-Stauffer.pdf](http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/workshops/WS2005/.../8-Stauffer.pdf)). Общая математическая постановка данного подхода описана в [5]. Для работы системы усвоения необходима подборка коэффициентов, зависящих как от самих усваиваемых данных, так и от расчетной сетки модели, что накладывает определенные ограничения на смену расчетной области и выборку усваиваемых данных. Входные данные — это ASCII-файл формата little_r, где наблюдения сортированы в хронологическом порядке. Этот файл формируется конвертером Obs_little на основе метео данных, получаемых от УАМС АМК-03.

Рассмотренный метод усвоения позволил использовать результаты измерений УАМС, а именно непрерывных значений температуры и горизонтальных компонент скорости ветра. Схема получения прогноза выглядит следующим образом (рис. 1).



Рис. 1. Схема получения прогноза (стрелки показывают поступление метео данных от УАМС)

На основе данных глобального прогноза NCEP производится запуск модели на 36 ч. Первые 12 расчетных часов — это время разгона модели и время усвоения файлов метео данных. Следующие 24 расчетных часа — это прогноз, который отталкивается от рассчитанных полей, откорректированных данными наблюдений. Для раннего выявления ОМЯ из полученных полей температуры, компонент скорости ветра и давления будут определяться области с высоким градиентом этих величин.

1.1. Мезомасштабные модели WRF высокого разрешения

Для получения метеорологических полей с высоким пространственным разрешением, была выбрана WRF-ARW-система версии 3.1 [2, 6]. Ее основой является WRF-модель (численная модель прогноза погоды и метеорологического исследования). WRF-ARW-система состоит из WPS-системы подготовки данных, численного ядра WRF и численного пакета для реализации физических схем. Препроцессорная система (WPS) позволяет формировать входные данные для модели из исходных метеополей, отвечающих определенной структуре и формату, а также формирует входные данные для модели подстилающей поверхности, топографическую составляющую и т.д. Численное ядро ARW-системы включает в себя [2]: ядро (математические модули), схемы физических процессов для приземного слоя, радиацию, микрофизические процессы, накопление осадков и параметризацию облачности. В настоящее время эта модель активно используется в атмосферных исследованиях для предсказания погоды, изучения регионального климата, глобального моделирования.

1.2. Краткосрочное локальное прогнозирование на основе метеоданных АМК-03

Высокая частота измерений метеорологических величин, выполняемых УАМС АМК-03 (до 80 Гц), и сохранение их значений в базе данных компьютера позволяют получать временные ряды со значениями каждой из измеряемых величин $\xi_k = \xi(t_k)$ в дискретные моменты времени t_k , относящиеся к одной пространственной точке. Подобные ряды можно использовать для прогностических оценок их дальнейшей временной эволюции на основе применения известных алгоритмов с использованием фильтра Калмана [7]. Один из вариантов такого фильтра (Калмана—Бьюси) был синтезирован на компьютере, и с его помощью выполнены сверхкраткосрочные прогнозы (до 6 ч) временной эволюции температуры воздуха T , атмосферного давления P , абсолютной влажности воздуха q , зональной U и меридиональной V составляющих скорости ветра. При этом использовалось временное усреднение значений ξ_k на интервале 20 мин с периодичностью δ регистрации усредненных значений, равной также 20 мин [3].

В качестве математической модели временной эволюции для каждой из измеряемых метеовеличин ξ применен алгебраический полином с изменяющимися во времени коэффициентами $a_0(t)$, $a_1(t)$, $a_2(t)$, ..., $a_n(t)$:

$$\xi(t_0 + \tau) = a_0(t_0 + \delta) + a_1(t_0 + \delta) \tau + a_2(t_0 + \delta) \tau^2 + \dots + a_n(t_0 + \delta) \tau^n. \quad (1)$$

Здесь t_0 — время последнего измерения параметра ξ ; τ — интервал временной экстраполяции ξ ; a_1, a_2, \dots, a_n считаются медленно меняющимися на интервале τ случайными процессами, значения которых для последующего срока измерения $t_0 + \delta$ вычисляются в каждый текущий момент t_0 .

Для вычисления коэффициентов $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$, входящих в (1), использовалась фильтрация Калмана значений прогнозируемой величины $\xi(t_k)$, измеренных в предыдущие моменты времени $t_k = t_0 - (k - 1)\delta$, где $k = 1, 2, 3, \dots, m$ (m — используемое число циклов работы фильтра Калмана). При этом применялось дополнительное априорное условие $a_0(t_0 + \delta) = \xi(t_0)$. Параметр $\delta t = (m - 1)\delta$ является периодом упреждения для начала выполнения измерений метеовеличины ξ , который требуется для набора объема данных измерений $\xi(t_k)$ к моменту t_0 , достаточного для минимизации ошибки прогнозирования.

В рамках теории фильтрации Калмана коэффициенты $a_0(t)$, $a_1(t)$, $a_2(t)$, ..., $a_n(t)$ сводятся в дискретный по времени вектор-столбец состояний анализируемой динамической системы

$$\mathbf{X}(k) = [X_1(k), X_2(k), X_3(k), \dots, X_{n+1}(k)]^T, \quad (2)$$

где интервал дискретизации между соседними значениями k можно задавать только кратным или равным периоду δ поступления данных измерений. Фильтр Калмана обеспечивает оценку $\hat{\mathbf{X}}(k + 1)$ век-

тора состояния системы на последующий $(k + 1)$ -й шаг цикла его работы с минимальной дисперсией. Используя ее, можно далее выполнять прогнозы $\hat{\xi}$ значений ξ на требуемые интервалы времени τ вперед по формуле, вытекающей из принятой модели (1):

$$\hat{\xi} = \hat{X}_1 + \hat{X}_2 \tau + \hat{X}_3 \tau^2 + \dots + \hat{X}_{n+1} \tau^n. \quad (3)$$

Для определения оптимальных параметров используемого алгоритма прогнозирования выполнены оценки $\hat{\xi}$ с использованием полиномов со степенями n от 1 до 6 включительно и с интервалами упреждения δt 1, 2, 3, ..., 7 ч. Прогноз значений ξ выполнялся на 1, 2, 3, ..., 6 ч вперед. При этом дополнительно вычислялись ошибки прогноза как $\Delta \xi = \hat{\xi} - \xi$ и далее из них — среднеквадратическая за выбранный период наблюдений погрешность прогноза — СКО($\hat{\xi}$). Расчеты показали, что предлагаемый метод позволяет выполнять с хорошей точностью прогнозы значений всех основных метеовеличин на сроки τ , не превышающие 6 ч. Исследуя метод для различных комбинаций параметров калмановской фильтрации, можно сделать вывод, что оптимальным с точки зрения минимизации погрешности прогнозирования является использование комбинации полинома 3-й степени с интервалом упреждения δt , примерно равным сроку прогнозирования τ , в котором выполняется не менее 9 циклов работы фильтра Калмана.

Качество краткосрочных прогнозов можно оценить из рис. 2, а, где сплошной линией показан временной ход значений температуры воздуха, измеренных АМК-03 в феврале 2003 г., и ее значения, спрогнозированные на 6 ч вперед.

Подобные рисунки, построенные для других метеовеличин (P , q , U и V), показывают еще меньшие погрешности прогнозирования. Наилучшие результаты для используемого метода получаются для временных участков, на которых прогнозируемая величина непрерывно возрастает или убывает. При этом изменения модуля скорости возрастания или убывания значения метеовеличины практически не сказываются на качестве прогнозов. Наиболее критичными являются случаи, когда временная производная в суточном ходе значений метеовеличины резко изменяет свой знак. Это обусловлено тем, что фильтр Калмана обладает некоторой инерционностью в прогнозировании коэффициентов a_i , равной здесь двум циклам его работы. Из рис. 2, а видно, что когда временная производная температуры меняет свой знак, фильтр подстраивает соответствующим образом значения коэффициентов a_1 и a_2 только через 40 мин. Тем не менее абсолютные ошибки прогноза даже в этом случае оказываются сопоставимыми с погрешностью измерений многих традиционных средств метеорологических измерений.

На рис. 2, б приведены значения среднеквадратической за месяц погрешности прогноза на 1, 3 и 6 ч для всех исследуемых метеовеличин, вычисленные для трех месяцев 2003 г. (в каждом месяце использовано более 2 тыс. измерений АМК-03). Очевидно, что во всех случаях погрешность прогноза возрастает с увеличением срока прогнозирования.

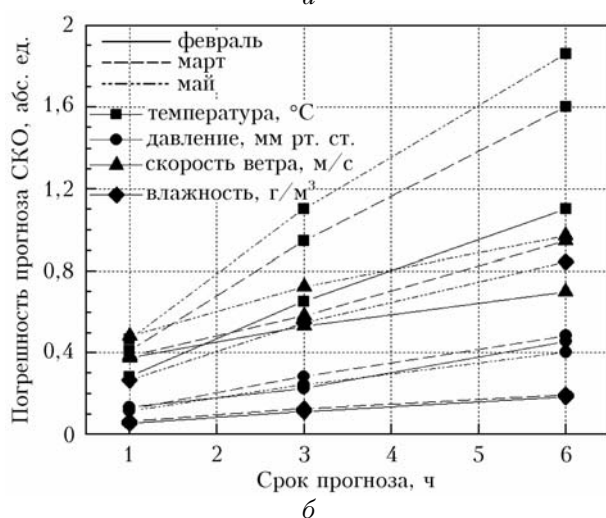
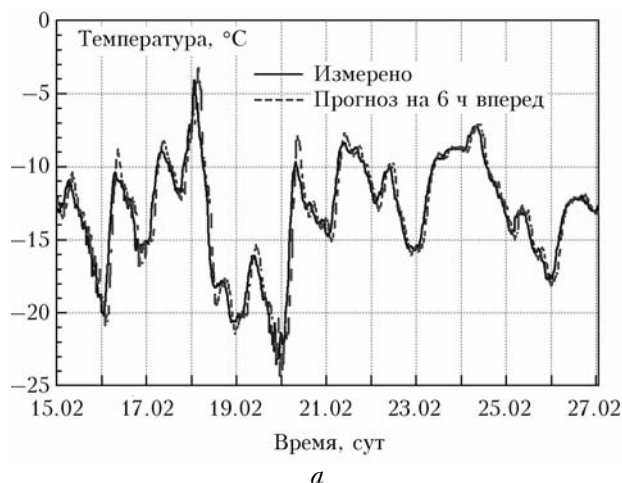


Рис. 2. Результаты прогнозирования метеорологических величин по результатам измерений АМК-03: а – сравнение измеренных с интервалом 20 мин значений температуры воздуха и ее 6-часовых прогнозов за 12 дней февраля; б – СКО прогноза метеовеличин для трех различных месяцев года

Наилучшее качество прогноза независимо от времени года получается для наиболее инерционной характеристики атмосферы – атмосферного давления.

Меньшая погрешность прогноза абсолютной влажности воздуха в феврале и марте здесь обусловлена только тем, что при отрицательных температурах атмосфера содержит значительно меньше влаги, чем в теплые периоды года. Большие погрешности прогноза для температуры воздуха по сравнению с другими метеовеличинами обусловлены регулярными суточными колебаниями ее значений, приводящими к частой повторяемости случаев, когда ее временная производная быстро изменяет свой знак. Для Томска в мае и марте характерны наибольшие разности между пиковыми значениями ночной и дневной температуры воздуха, иногда превышающие 20 °С. Соответственно для этих месяцев получились наибольшие погрешности прогноза значений температуры.

В создаваемой ИИС, содержащей группу пространственно разнесенных УАМС АМК-03, описанный метод прогнозирования будет расширен на 3-мерный

(пространственно-временной) случай. В нем метеовеличины ξ рассматриваются как функции времени t и двух пространственных координат x и y . Соответственно вместо (1) используется разложение $\xi(t, x, y)$ в ряд Тейлора по трем аргументам, а в (2) для описания состояния динамической системы вместо вектора-столбца используется трехмерная матрица. Это позволит использовать в ИИС не только временные прогнозы, но и интерполяцию и экстраполяцию приземных значений метеорологических величин по территории, контролируемой ИИС.

2. Инструментальная часть информационно-измерительной системы

Инструментальную основу ИИС составляет сеть постов УАМС АМК-03, измеряющих основные метеорологические величины: скорость и направление горизонтального ветра, скорость вертикального ветра, температуру воздуха, относительную влажность и атмосферное давление с возможной частотой опроса датчиков до 80 Гц и усреднением измеренных значений метеовеличин за интервал от 1 до 20 мин [1]. Кроме того, в состав инструментальной части ИИС входят сервер для сбора данных с сети постов УАМС и система связи между УАМС и сервером (рис. 3), а также специальное программное обеспечение. Разработанный пилотный проект ИИС включает три поста измерений.

2.1. Сеть постов АМК-03

Места территориального размещения постов УАМС выбирались исходя из нескольких критериев: 1) нахождение в розе основных ветров Томской области; 2) близость расположения к стационарным источникам питания; 3) возможность использования сотовой связи для передачи данных с постов УАМС на центральный сервер сбора информации; 4) вандализационность мест установки аппаратуры. Для обеспечения последнего критерия одним из вариантов размещения постов УАМС являются вышки сотовой связи [8].

Центральный пункт, размещенный на территории Института, включает один пост УАМС АМК-03 и сервер для сбора метеорологической информации. Выносные посты УАМС по своему составу идентичны посту 1. Основным элементом УАМС АМК-03 является датчик метеорологических параметров ДСВ-15 [1]. Датчик включает в себя ультразвуковой термоанемометр, который обеспечивает измерение первичных физических величин – времен распространения ультразвуковых импульсов в воздухе в трех ортогональных направлениях для вычисления трехкомпонентного вектора ветра и температуры [9], а также датчики атмосферного давления и влажности воздуха, которые вырабатывают электрические сигналы, пропорциональные этим метеовеличинам. Пакет электрических сигналов передается на вычислительное устройство, где на основе известных

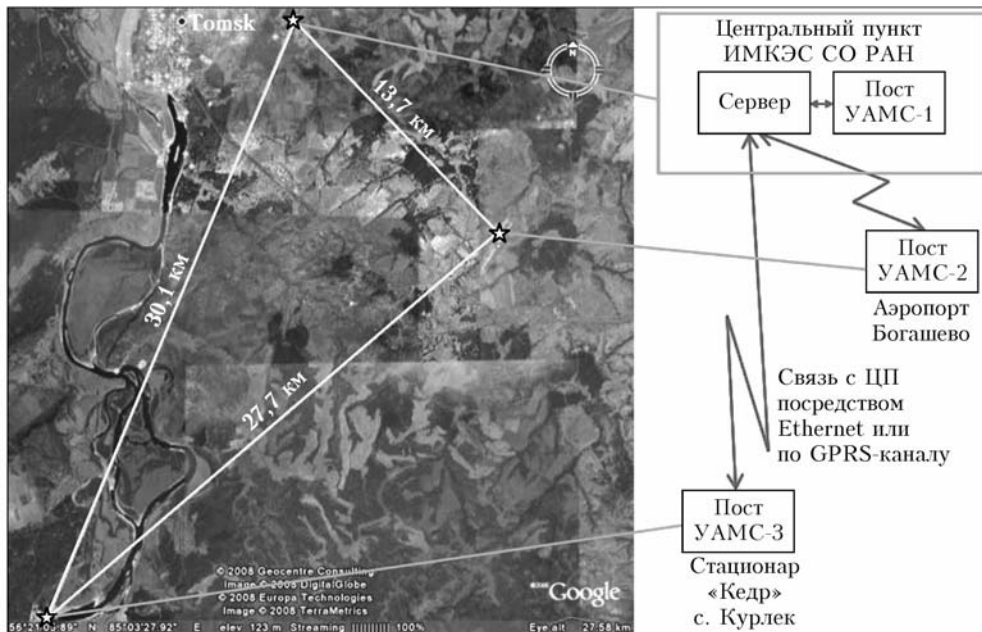


Рис. 3. Схема размещения постов УАМС

алгоритмов производится последующее определение мгновенных значений искомых метеовеличин.

Вычисление производится специальным процессором или персональным компьютером с использованием программы «МЕТЕО 3.0». Небольшие массогабариты датчика ДСВ-15, его низкое энергопотребление и способность к длительной эксплуатации без технического обслуживания позволяют размещать его на различных существующих инженерных объектах и сооружениях (метеорологических мачтах, вышках сотовой связи, крышах зданий и т.п.).

2.2. Система связи и сбора метеорологической информации

Для построения на основе УАМС АМК-03 пространственно разнесенной ИИС, работающей в реальном масштабе времени, использованы коммутационные контроллеры передачи данных, которые осуществляют связь датчиков метеорологических параметров ДСВ-15 с сервером [10, 11]. Схема построения системы связи показана на рис. 4.

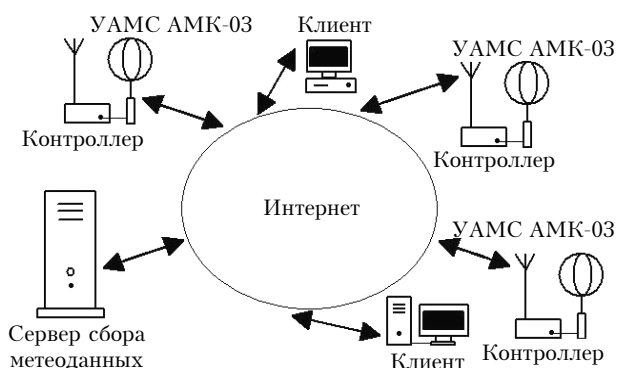


Рис. 4. Схема построения системы связи и обмена информацией в ИИС

Контроллер соединяется с сервером данных через Интернет с помощью встроенных в него интерфейса связи Ethernet (кабельный канал) и GSM-GPRS-модема (канал сотовой связи). Наличие в модеме лифтов для двух SIM-карт обеспечивает беспроводную работу контроллера в сетях двух операторов мобильной связи стандарта GSM. Для обеспечения буферизации, первоначальной обработки и передачи данных устройство оснащено оперативной памятью емкостью 64 кбайт. На сервере работает специальная программа, которая ожидает соединения с контроллером. Если установлено соединение с одним или несколькими контроллерами, на сервер начинают поступать данные с поста УАМС. Сервер позволяет настраивать режимы работы контроллера и следить за текущим состоянием соединения.

Для создания банка данных мгновенных значений метеовеличин, поступающих с трех постов измерений, и последующего ввода этих данных в прогностическую модель WRF (для ее корректировки) разработано дополнительное программное обеспечение. Для сервера сбора метеоданных разработана серверная программа в виде сайта (по адресу <http://meteot.imces.ru>), которая поддерживает соединение с коммутационными контроллерами и сохраняет получаемые от них первичные данные измерений УАМС АМК-03 в разработанной для этой цели базе данных.

Администратор сайта имеет возможность проверять работоспособность УАМС, изменять периодичность их опроса и время усреднения данных, а также при необходимости удалять в базе данных некорректные записи. Разработан и отлажен протокол информационного сопряжения через Интернет клиентских программ, используемых конечными пользователями системы, с серверной программой, позволяющий им запрашивать измерительную информацию из базы данных на сервере.

Разработанная клиентская программа (Windows-приложения «АМК-клиент») позволяет на удаленном рабочем компьютере пользователя запрашивать и получать через Интернет как текущие, так и за любой предыдущий период результаты измерений УАМС. Данная программа вычисляет из запрошенных с сервера первичных данных измерений УАМС физические значения метеорологических величин с учетом индивидуальных градуировочных параметров используемых в системе средств измерений с возможностью визуального просмотра результатов обработки в графическом виде и сохранения ее в файлах.

3. Предварительные результаты

В процессе выполнения работы проведена настройка модели WRF для расчета на мелкомасштабной сетке для северных регионов Азии, в частности Западной Сибири. Подобраны соответствующие параметризации:

- для микрофизики (атмосферы): схема [12] – модель снега, льда, облаков и дождя;

- для длинноволнового излучения: схема RRTM – основана на схеме [13] и является спектральной схемой, использующей метод K -корреляции. Также она использует предварительный набор таблиц входных данных для точного представления длинноволновых процессов за счет водяного пара, озона, CO_2 и газовых примесей, а также учитывает оптическую глубину облаков;

- для коротковолнового излучения: схема [14] – двухпоточная многодиапазонная схема с эффектом облаков;

- для диффузии: схема горизонтальной диффузии 6-го порядка;

- для поверхностного слоя: схема ETA [15] – на основе схемы тепловой длины шероховатости Молина–Обухова и Зилитинкевича, со стандартной функцией параметризации, зависящей от входных данных;

- для модели подстилающей поверхности: Noah LSM (NCEP/NCAR/AFWA) – 4-уровневая модель влажности и температуры почвы с расчетом энергетических потоков, моделью влажности растительности и моделью динамики снега.

Был проведен ряд сравнительных тестовых расчетов, показывающих разницу между получением прогнозов, основанных: а) только на данных глобального прогноза, б) на модели WRF, в) на моделях прогноза WRF и системы усвоения метеоданных АМК-03. На данном этапе расчеты проводились на локальном сервере с отработкой подходов параллельных вычислений. Рис. 5 иллюстрирует эффективность прогноза и системы усвоения данных.

Результат прогноза с использованием глобальной модели с пространственным разрешением $1,25^\circ$, восстановленный на расчетной сетке 4 км (рис. 5, а), практически не показывает локальные неоднородности. Применение региональной модели WRF с разрешением 4 км повышает детализацию поля температур (рис. 5, б) и позволяет локализовать мелкие структуры. Усвоение данных измерений АМК-03 (рис. 5, в) на той же сетке существенно меняет общую картину распределения поля температуры.

Проведена настройка программного обеспечения сервера сбора метеоданных, входящего в инструментальную часть ИИС (см. рис. 4) и включающего: получение данных метеорологической информации от приборов (постов УАМС); выдачу метеоданных внешним клиентским программам; веб-сервер визуализации

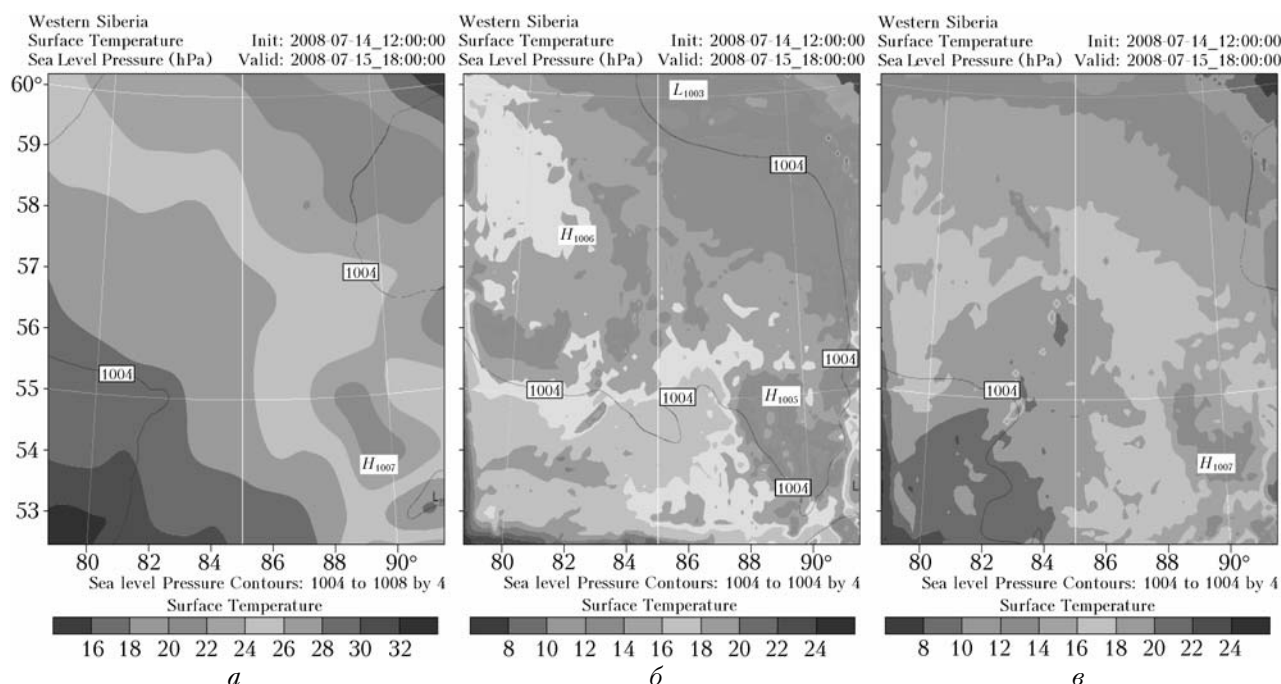


Рис. 5. Поле температуры на высоте 2 м, полученное: а – процедурой восстановления на основе глобального прогноза; б – на основе 36-часового прогноза WRF модели; в – на основе 36-часового прогноза WRF модели и 12-часовой процедуры усвоения данных УАМС АМК-03

ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ ПРИБОРОВ 02.07.2010 13:10:14

Коннект	Серийный номер	Размещение	Телефон	IMEI-код	Усреднение (кадров)	Добавить
3126713	66	Отладочный	+790627801081	353098003375356	10	редактировать удалить
5459	67	Отладочный2	+790627801082	353098003375357	10	редактировать удалить
20811580	68	Autoappend		353098007344978	1	редактировать удалить
444	69	Отладочный3	+790627801083	353098003375358	50	редактировать удалить
2252490	70	Отладочный4	+790627801084	353098003375359	10	редактировать удалить
407	1000	Autoappend		353098007344978	60	редактировать удалить
0	12345				0	редактировать удалить

Рис. 6. Одно из окон программного обеспечения сервера сбора метеоданных

состояния и управления приборами и пользователями ИИС. Взаимодействие сервера и клиентской программы осуществляется по специально разработанному протоколу.

Приведенное на рис. 6 окно программного обеспечения сервера показывает возможности его работы с группой постов УАМС. В 1-м столбце показано количество пакетов информации, полученных от УАМС, и ее состояние на данный момент времени: зеленым цветом выделяются УАМС, передающие информацию в момент соединения, желтым – УАМС, соединение с которыми осуществлено, но информация по каким-либо причинам не поступает, красным – УАМС, соединение с которыми на данный момент времени отсутствует. Это позволяет оператору быстро оценивать функциональное состояние ИИС в целом. Также указываются серийные (или порядковые) номера УАМС, подключенных к системе, места их расположения, телефонные номера и IMEI-коды. Кроме того, приводится установленная частота передачи данных для каждой УАМС (частота опроса датчика метеорологических параметров ДСВ-15).

Заключение

Использование продвинутой прогностической модели WRF, а также «упрощенной» системы усвоения оперативных данных измерений УАМС АМК-03 показало возможность получения более точного прогноза, содержащего значительные возмущения в полях метеовеличин. Имея прогнозные поля метеовеличин (давление, скорость ветра, температура) с высоким пространственным разрешением, можно провести анализ их неоднородности и локализовать значительные возмущения в интересующей нас области что, по сути, является первым этапом раннего обнаружения локальных штормовых погодных явлений.

Применение в ИИС метода, основанного на использовании калмановской фильтрации полиномиальных коэффициентов, описывающих изменчивость метеовеличин, позволит прогнозировать про-

странственно-временное развитие ОМЯ с разрешением, определяемым плотностью инструментальных измерений во времени и по территории, охваченной ИИС. Увеличение временного разрешения прогнозов здесь достигается возможным в ДСВ-15 уменьшением (до 1 мин) интервалов времени усреднения метеовеличин и их регистрации на сервере. Увеличение пространственного разрешения обнаруживаемых ОМЯ требует увеличения числа постов УАМС АМК-03, что связано со значительными материальными затратами.

Первая очередь информационно-измерительной системы на основе трех постов УАМС АМК-03 будет введена в опытную эксплуатацию в конце 2010 г. в районе г. Томска. Созданная инструментальная часть ИИС обеспечивает:

- получение и сбор первичной информации о значениях метеорологических величин в реальном масштабе времени с территориально разнесенных УАМС АМК-03;
- кодирование и беспроводную (GSM-GPRS модем) или проводную (Ethernet) передачу первичных данных на веб-сервер ИИС;
- декодирование и сохранение этих данных на веб-сервере;
- формирование, кодирование, передачу и декодирование команд управления режимами работы УАМС с управляющего веб-сервера ИИС;
- обработку и форматирование данных, поступающих с УАМС, и передачу их на клиентские рабочие станции для использования в вычислительных моделях формирования краткосрочного локального прогноза возможного развития метеорологической ситуации;
- организацию системы санкционированного доступа пользователей к ресурсам информационно-измерительной системы.

Работа выполняется при поддержке Программы СО РАН VII.66.1 (проект VII.66.1.2) и РФФИ (грант № 09-05-99014-р_офи).

1. Азбукин А.А., Богусевич А.Я., Ильичевский В.С., Корольков В.А., Тихомиров А.А., Шелевой В.Д. Автоматизированный ультразвуковой метеорологический комплекс АМК-03 // Метеорол. и гидрол. 2006. № 11. С. 89–97.
2. Skamarock W.C., Klemp J.B., Dudhia J., Gill D.O., Barker D.M. A Description of the Advanced Research WRF Version 3. NCAR technical note NCAR/TN-475+STR, 2008.
3. Богусевич А.Я. Краткосрочный прогноз временной эволюции метеорологических параметров в атмосфере из данных измерений ультразвуковой метеостанции // Материалы 6-го Сибирского совещания по климато-экологическому мониторингу, Томск. 2005. С. 83–88.
4. Азбукин А.А., Богомолов В.Ю., Богусевич А.Я., Гордов Е.П., Корольков В.А., Крупчатников В.Н., Тихомиров А.А. Информационно-измерительная система для обнаружения опасных метеорологических явлений // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). М.: Изд-во «Горная книга», 2009. № ОВ18. С. 124–129.
5. Liu Y., Bourgeois A., Warner T., Swerdlin S., Hacker J. An implementation of obs-nudging-based FDDA into WRF for supporting ATEC test operations. 2005. WRF user workshop. Paper 10.7.
6. Wei Wang, Bruyere Cindy, Duda M. ARW version 3 system User's Guide. NCAR, 2009.
7. Комаров В.С., Попов Ю.Б., Суворов С.С., Кураков В.А. Динамико-стохастические методы и их применение в прикладной метеорологии. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2004. 235 с.
8. Сеть метеорологических станций: патент на полезную модель 66431 Рос. Федерация, МКП7 F03 D 9/00 / Фризон М.Б., Ермошенко Ю.М., Куракин В.И., Шоромов Н.П.; заявитель и патентообладатель ФГУП «Гидрометеопоставка». № 2007114936/22; заяв. 20.04.07; опубл. 10.09.07. Бюл. № 25.
9. Тихомиров А.А. Ультразвуковые анемометры и термометры для измерения пульсаций скорости и температуры воздушных потоков // Оптика атмосф. и океана. 2010. Т. 23, № 7. С. 585–600.
10. Азбукин А.А., Кальчихин В.В., Кобзев А.А., Корольков В.А., Тихомиров А.А. Коммутационный контроллер передачи метеорологических данных // Приборы и техн. эксперим. 2010. № 4. С. 166.
11. Кобзев А.А., Кальчихин В.В., Азбукин А.А., Корольков В.А., Тихомиров А.А. Реализация передачи измерительной информации в сети постов автоматизированных метеостанций // Контроль окружающей среды и климата «КОСК-2010»: Мат-лы симпоз. / Под общ. ред. М.В. Кабанова, А.А. Тихомирова. VII Всерос. симпоз. Томск: Аграф-Пресс, 2010. С. 23–24.
12. Thompson G., Rasmussen R.M., Manning K. Explicit forecast of winter precipitation using an improved bulk microphysics scheme. Part 1: Description and sensitivity analysis // Mon. Weather Rev. 2004. V. 132. P. 514–542.
13. Mlawer E.J., Taubman S.J., Brown P.D., Iacono M.J., Clough S.A. Radiative transfer for inhomogeneous atmosphere: RRTM, a validated correlated-k model for the long-wave // J. Geophys. Res. D. 1997. V. 102, N 14. P. 16663–16682.
14. Chou M.-D., Suarez M.J. A solar radiation parameterization for atmospheric studies. NASA Tech. Rep. NASA/TM-1999-10460. 1999. V. 15. 38 p.
15. Chen F., Janjic Z., Mitchell K. Impact of atmospheric surface-layer parameterization in the new land-surface scheme of the NCEP mesoscale ETA model // Boundary-Layer Meteorol. 1997. V. 48. P. 391–421.

V. Yu. Bogomolov, A. Ya. Bogushevich, E. P. Gordov, V. A. Korol'kov, V. N. Krupchatnikoff, A. A. Tikhomirov. **Information-measurement system for regional monitoring and forecast of hazardous weather conditions.**

Methodological and instrumental bases are considered for designing a prototype of an information-measurement system (IMS), intended for monitoring and forecast of hazardous weather conditions over territory up to several hundreds of square kilometers. The instrumental part of the system includes a network of АМК-03 automated ultrasonic weather stations, covering the territory. The stations measure meteorological quantities and transfer them to a log server with high data refresh rate. To forecast meteorological processes, the WRF mesoscale model and method based on Kalman filtering, and developed for local short-time forecast of meteorological quantities to be measured with АМК-03, are used. The paper presents description of the IMS developed and the first results obtained.