

В.С. Комаров, А.В. Креминский, Н.Я. Ломакина, А.Н. Хвощевский

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ ЛОКАЛЬНО-РЕГИОНАЛЬНОГО МОНИТОРИНГА АТМОСФЕРНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

Рассмотрены принципы построения, основные функции и конфигурация автоматизированной системы метеорологической поддержки локально-регионального мониторинга атмосферных загрязнений, разрабатываемой в Институте оптики атмосферы СО РАН и являющейся составным элементом ГИС-эколог. Приведены технические характеристики системы.

1. Введение

Накопленный опыт организации и ведения экологического мониторинга атмосферы в различных регионах нашей страны достаточно ясно свидетельствует, что планирование и проведение природоохранных мероприятий в масштабах отдельных территориально-административных образований должно основываться на использовании оперативной, достоверной и максимально полной информации о состоянии загрязнения воздушной среды, причем не только вблизи источников этого загрязнения, но и в окрестностях крупных промышленных центров и близлежащих районов.

Существующая система отечественного экологического мониторинга атмосферы ограниченных территорий (например, крупного города, промышленного центра и региона в целом) не отвечает в полной мере требованиям современной практики (особенно в части оперативности и репрезентативности получаемых данных и автоматизации процессов наблюдений и обработки экологической информации). Поэтому на повестку дня остро встал вопрос о скорейшем создании эффективной автоматизированной системы локально-регионального мониторинга атмосферных загрязнений. При этом подобная система должна разрабатываться не только на основе новейших технических средств контроля атмосферных загрязнений (и в первую очередь наиболее перспективных и эффективных систем лазерного зондирования, обеспечивающих получение профилей или полей метеорологических величин с исключительно высоким пространственно-временным разрешением [1–3]), но также и на базе современных геоинформационных технологий, представляющих собой компьютерные технологии комплексной обработки пространственно-распределенной информации и получивших широкое распространение за рубежом при решении задач оперативного оценивания состояния природных ресурсов [4, 5].

Учитывая данное обстоятельство, в Институте оптики атмосферы СО РАН начиная с 90-х годов ведутся широкие и планомерные исследования по проблеме создания компьютерных геоинформационных систем (ГИС) [6, 7], которые предназначены для обработки данных атмосферно-экологических измерений, поступающих от всех контрольно-измерительных датчиков, находящихся на рассматриваемой территории, а также для оценки и прогноза масштабов пространственного распространения загрязняющих веществ и эволюции уровня загрязнения атмосферного воздуха в результате аварий и крупных катастроф. Пример структурно-функциональной схемы локально-региональной ГИС такого типа приведен в [7]. На рис. 1 дается аналогичный, хотя и несколько уточненный позже, вариант структурно-функциональной схемы ГИС-эколог, предназначенной для решения прикладных задач атмосферной экологии.

Сразу следует сказать, что одним из наиболее важных элементов данной ГИС является подсистема диагноза и прогноза атмосферно-экологической ситуации, в состав которой входят блок усвоения и согласования данных и имитационный моделирующий комплекс, представляющий собой мезомасштабную модель переноса загрязняющих примесей (о ней, в частности, говорится в работах [8–11]), которая используется для численного оценивания (диагноза) и прогнозирования пространственного распространения и эволюции атмосферных загрязнений. Для работы имитационного моделирующего комплекса достаточно подать на его вход резуль-

таты объективного анализа мезометеорологических полей (т.е. полей с характерным масштабом от десятков до сотен километров [12]) и выполнить процедуру инициализации (согласования) полей метеорологических величин, а также начальных характеристик загрязнения и источников этого загрязнения. После реализации данной процедуры оказывается возможным (путем численного решения уравнения переноса) не только оценить масштабы распространения загрязняющих примесей, но и спрогнозировать эволюцию уровня загрязнения воздушной среды в пределах заданной территории.



Рис. 1. Структурно-функциональная схема ГИС-эколог

Поскольку метеорологическая информация, представленная в основном результатами объективного анализа полей метеорологических величин (и в первую очередь температуры, влияющей на условия турбулентного переноса, и характеристик ветра, определяющих адвекцию загрязняющих примесей [13]), имеет важное значение для оценки и прогноза распространения и эволюции атмосферных загрязнений, то в состав локально-региональной ГИС, предназначенной для решения экологических задач, должна входить (правда, в автономном исполнении) автоматизированная система метеорологической поддержки (АСМП). Эта система, решая свои функциональные задачи, обеспечивает оперативную работу подсистемы диагноза и прогноза, а также блока экспертных систем ГИС-эколог.

В настоящей статье, являющейся обобщением результатов продолжительных исследований по проблеме создания АСМП, рассмотрены основные принципы ее разработки, а также структурные особенности и состав первой версии этой системы, реализованной в течение 1995–1996 гг.

2. Основные принципы построения автоматизированной системы метеорологической поддержки – составного элемента ГИС-эколог

Учитывая основные задачи, решаемые АСМП, и ее целевое назначение, можно сформулировать следующие основные принципы построения автоматизированной системы метеорологической поддержки:

- облик АСМП должен формироваться, исходя из тех функциональных задач, которые должны реализовываться с помощью этого программно-вычислительного комплекса;
- автоматизированная система метеорологической поддержки должна разрабатываться в виде многофункционального компьютерного комплекса, создаваемого на базе персональной ЭВМ типа IBM PC/AT или ПЭВМ, совместимой с ней;

– АСМП должна включать в состав информационно-программного обеспечения подсистему информационных баз и ряд пакетов прикладных программ, предназначенных для обработки и преобразования входных данных, решения прикладных (тематических) задач и представления полученных результатов в виде цифровых данных, а также в графическом, табличном и картографическом виде;

– АСМП должна обеспечивать децентрализованный принцип обработки данных и принцип «открытости» по отношению к составу обрабатываемой метеорологической информации, а также возможность работы с оператором в диалоговом режиме;

– системная архитектура АСМП должна представлять широкие возможности для высокопроизводительной обработки данных и решения прикладных задач, а также поддерживать модульный принцип построения этого программно-вычислительного комплекса, который позволил бы успешно проводить последующую интеграцию в него дополнительных информационных и программных модулей;

– тематическое программно-алгоритмическое обеспечение АСМП должно основываться на оптимальном комплексировании классических (традиционных) и нетрадиционных подходов к обработке метеорологической информации и решению прикладных задач;

– АСМП должна иметь возможность подключения к автоматизированным системам приема и передачи данных и осуществлять преобразование оперативной метеорологической информации, представленной в специальных кодах, в вид и формат, используемые в АСМП для формирования базы оперативной и режимной аэрологической информации и решения прикладных задач;

– АСМП должна создаваться таким образом, чтобы в случае необходимости существовали широкие возможности для ее включения непосредственно в состав экологической геоинформационной системы.

Все перечисленные выше принципы были приняты во внимание при программной реализации первой версии автоматизированной системы метеорологической поддержки.

3. Назначение и основные функции автоматизированной системы метеорологической поддержки

Автоматизированная система метеорологической поддержки, разрабатываемая в виде многофункционального и профессионально-ориентированного программно-вычислительного комплекса, предназначена для оперативного метеорологического обеспечения работы локально-региональной экологической ГИС. АСМП предназначена для решения таких прикладных задач, как:

– построение локальных статистических моделей высотного распределения метеорологических величин, влияющих на формирование поля атмосферных загрязнений, осуществляемое по данным оперативных аэрологических наблюдений сети радиозондовых и лидарных станций, находящихся на территории мезомасштабного полигона и в близрасположенных районах;

– численное восполнение недостающих данных на отдельных уровнях (или слоях) атмосферы по результатам зондирования на нижележащих уровнях;

– объективный анализ трехмерной структуры мезометеорологических полей в пределах заданной территории, проводимый по данным сети аэрологических (в том числе лидарных) станций и с учетом возможности изменения размеров и ориентации регулярной сетки точек, а также ее пространственного разрешения (шага сетки).

Рассмотрим теперь основные функции, которые должна реализовать автоматизированная система метеорологической поддержки, исходя из перечисленных выше прикладных задач. С этой целью воспользуемся блок-схемой АСМП, представленной на рис. 2. Как видно из данного рисунка, рассматриваемая система реализована в виде ряда модулей (подсистем), каждый из которых выполняет специфический набор функций. В число этих модулей входят:

- 1) подсистема информационных баз;
- 2) подсистема обработки и преобразования входной информации;
- 3) подсистема восполнения недостающих данных;
- 4) подсистема объективного анализа трехмерной структуры мезометеорологических полей;
- 5) подсистема представления выходной информации;
- 6) интерфейс пользователя.

Перечисленные выше подсистемы обеспечивают в полной мере эффективное решение всех прикладных задач, требуемых для метеорологического обеспечения работы ГИС-эколог.



Рис. 2. Блок-схемы системы метеорологической поддержки ГИС-эколог

4. Краткая характеристика подсистем АСМП

Дадим краткую характеристику всем подсистемам первой версии автоматизированной системы метеорологической поддержки.

4.1. Подсистема информационных баз

Подсистема информационных баз, поддерживающая решение тематических задач, связанных с восполнением недостающих данных и объективным анализом метеорологических полей, включает в свой состав две базы, одна из которых содержит региональные климатические модели атмосферы, а другая – оперативную и режимную аэрологическую информацию, полученную по данным оперативных наблюдений радиозондовых и лидарных станций рассматриваемого мезометеорологического полигона. Рассмотрим каждую из этих информационных баз в отдельности.

База региональных климатических моделей атмосферы

Данная база содержит параметры региональных моделей атмосферы, представленные модельными профилями высотного распределения средних значений и стандартных (среднеквадратических) отклонений и модельными корреляционными матрицами давления p (гПа), температуры T (К), влажности q (г/кг), зональной u (м/с) и меридиональной v (м/с) составляющих вектора скорости ветра, которые получены до высоты 30 км (с шагом 1 км) для отдельных квазиоднородных районов Северного полушария, выявленных в процессе объективной классификации климатов свободной атмосферы.

Методология и результаты такой классификации, а также сведения о региональных климатических моделях атмосферы приведены в [14–16], а вопросы проектирования базы региональных моделей атмосферы рассмотрены в [17]. Сразу же укажем, что процедура проектирования данной базы основывается на методологии проектирования БД DATAID-1 [18]. На рис. 3 приведена глобальная операционная схема базы региональных моделей атмосферы, которая была построена на этапе концептуального проектирования. Система управления БД (СУДБ), как это видно на рис. 3, поддерживает три группы операций, связанных соответственно с ведением базы данных, отображением ее текущего состояния и поиском региональных моделей по заданным значениям географических координат.

Пространственная организация базы региональных моделей представляет собой набор статистических характеристик вышеуказанных метеорологических величин, соответствующих одному из квазиоднородных районов Северного полушария. При этом квазиоднородные районы – это пространственные полигоны, представленные упорядоченными значениями координат.

нат их узлов, а соответствующие им модели рассматриваются как множество смысловых значимых дескрипторов.

База оперативной и режимной аэрологической информации

Данная база является вторым функциональным блоком системы информационных баз и предназначена:

- для систематизации и оптимальной организации хранения и доступа к архивам оперативной информации, поступающей от сети аэрологических станций рассматриваемого мезометеорологического полигона, а также к архивам усредненных данных, содержащих для каждой из этих станций высотные профили средних значений (норм) и дисперсий давления, температуры, влажности и составляющих вектора скорости ветра, рассчитанных до высоты ~10 км по ограниченным выборкам оперативных наблюдений (для норм число наблюдений $N = k + 1$, где k – число уровней, а для дисперсий $N \geq 30$);
- для поиска требуемых данных в соответствии с запросом решаемой прикладной задачи;
- для представления архивной информации в виде файла, используемого в дальнейшем при решении задач восполнения недостающих данных и объективного трехмерного анализа мезометеорологических полей.

Организация и проектирование базы оперативной и режимной аэрологической информации были осуществлены исходя из ее назначения, причем на тех же принципах, что и базы региональных моделей атмосферы. Поэтому мы здесь не будем их рассматривать.

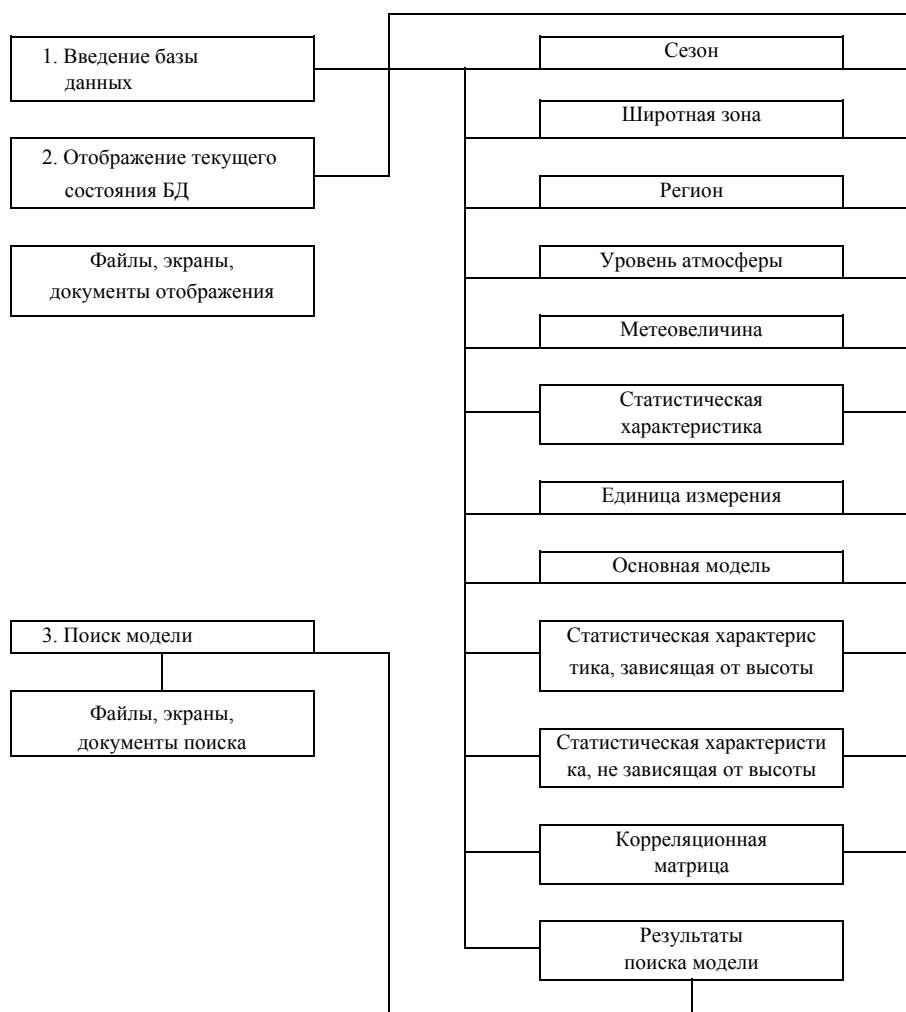


Рис. 3. Глобальная операционная схема базы региональных моделей атмосферы

4.2. Подсистема обработки и преобразования входной информации

Эта подсистема АСМП является вспомогательным модулем и предназначена для реализации таких задач, как:

- интерактивный ввод оперативной аэрологической информации, поступающей от станций радиозондирования и лидарного зондирования в закодированном или ином виде;
- выбор, преобразование и формирование нужной аэрологической информации в требуемом формате.

Результатом работы данной подсистемы является создание выходного файла с именем METEORES, представляющего собой таблицу, в первой строке которой записываются координаты станции (широта – ϕ , долгота – λ), во второй – год, месяц, дата и срок наблюдения, в третьей – номер профиля, а во всех остальных строках, расположенных в порядке возрастания высот H , записывается соответствующий комплекс метеорологических величин. При этом были выбраны следующие высоты: 110, 540, 990, 1460, 1950, 2470, 3010, 3590, 4210, 4870, 5570, 6340, 7190, 8190, 9160, 10360, 11780, 13610 и 16180 м. Подобная сетка геометрических высот позволит осуществить разделение атмосферы на слои, которые в соответствии со стандартной атмосферой имеют толщину около 50 гПа, что, согласно [11], необходимо для объективного анализа мезометеорологических полей и построения мезомасштабной модели распространения примесей. Перевод информации с уровней особых точек и изобарических поверхностей на эти высоты, который осуществляется также в данной подсистеме, проводится на основе метода линейной интерполяции [14].

4.3. Подсистема восполнения недостающих данных

Эта подсистема является одной из основных подсистем АСМП и предназначена для восполнения недостающей метеорологической информации на отдельных уровнях или в заданных атмосферных слоях по данным на нижележащих уровнях, а также по наблюдениям, взятым в предыдущие (к сроку восстановления) сроки.

Программно-алгоритмическое обеспечение этой подсистемы разработано на базе оригинальной методологии, в основу которой положен модифицированный метод группового учета аргументов (ММГУА) (он достаточно подробно описан в [19, 20]). Здесь же укажем, что в качестве исходных данных и математической модели в ММГУА используются:

- пространственно-временные наблюдения вида

$$\{\xi'(h, t), \quad h = 0, 1, \dots, h_k; \quad t = 1, \dots, N\}; \quad (1)$$

$$\{\xi'(h, t), \quad h = 0, 1, \dots, \bar{h} < h_k; \quad t = N + 1\},$$

где $\xi'(h, t)$ – случайные отклонения какой-либо метеорологической величины от нормы $\bar{\xi}(h)$; h – высота; t – время наблюдения и N – количество вертикальных профилей;

- смешанная разностная динамико-стохастическая модель вида

$$\xi(h, N+1) = \sum_{\tau=1}^{N^*} A(h, \tau) \xi(h, N+1-\tau) + \sum_{j=1}^{h-1} B(h, j) \xi(j, N+1) + \varepsilon(h, N+1), \quad (2)$$

где N^* – порядок запаздывания по времени ($N^* < [N - h - 1]/2$); $A(h, 1), \dots, A(h, N)$ и $B(h, 0), \dots, B(h, h-1)$ – неизвестные параметры модели, а величина $\varepsilon(h, N+1)$ – невязка модели.

А для выбора наилучшей модели (2) и успешного (на ее основе) прогнозирования метеорологических величин взяты (в соответствии с [21]) два метода, а именно:

- а) Метод направленного группового перебора, применяющийся для оптимизации структуры модели, проводимой с помощью:

- финальной ошибки прогнозирования (Х. Акаике) вида

$$\text{FRE} = \frac{(N - N^* - 1) + 1}{(N - N^* - 1) - 1} \text{RSS}(s), \quad (3)$$

где $RSS(s) = \sum_{j=1}^{N-N^*-1} [\xi_{h,N-j} - \hat{\xi}_{h,N-j}(s)]^2$ – остаточная сумма квадратов для текущей модели $\hat{\xi}_{h,N-j}(s)$,

содержащей «с» ненулевых оценок;

– среднеквадратической ошибки прогноза на контрольной выборке B

$$|\xi_{h,N} - \hat{\xi}_{h,N}(s)|^2 \rightarrow \min. \quad (4)$$

б) Метод минимаксного оценивания, используемый для получения оценок параметров модели и позволяющий гарантировать требуемое качество соответствующего прогноза, которое оценивается с помощью неравенства

$$E |\xi_{h,N+1} - \hat{\xi}_{h,N+1}|^2 \leq \delta_{h,N+1} \quad (h = \bar{h} + 1, \dots, h_k), \quad (5)$$

где $E(\bullet)$ – оператор математического ожидания, а $\hat{\xi}_{h,N+1}$ и $\delta_{h,N+1}$ – минимаксные оценки, зависящие от дисперсии ошибок наблюдений и от априорной информации о максимально допустимых значениях погрешностей прогноза.

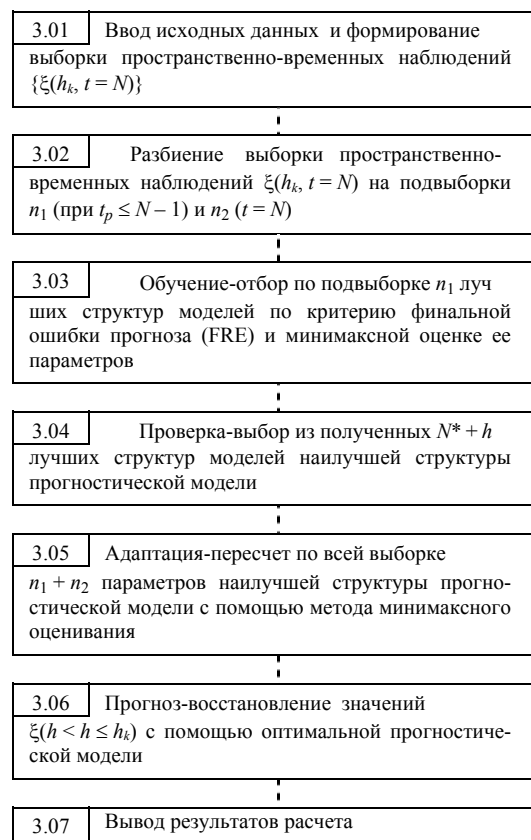


Рис. 4. Блок-схема выполнения недостающих данных с помощью алгоритма ММГУА

Подсистема выполнения недостающих данных, блок-схема которой приведена на рис. 4, обеспечивает построение (на основе сформированной матрицы пространственно-временных наблюдений) и выбор наилучшей прогностической модели ММГУА, а также численное восстановление с помощью этой модели заданной метеорологической величины до требуемой высоты или на отдельном уровне.

Выходная информация данной подсистемы формируется в ASCII файле с именем RESULT, в котором содержится поясняющая информация (номер станции, ее географические координаты, число и срок восстановления) и результаты восстановления заданной метеорологической величины до всех требуемых высот h (в том числе до предельной высоты h_k) или на отдельном уровне.

4.4. Подсистема объективного анализа мезометеорологических полей

Данная подсистема является второй (основной) и наиболее важной подсистемой АСМП, где осуществляется объективный анализ трехмерной структуры мезометеорологических полей по данным наблюдений аэрологических (в том числе лидарных) станций, находящихся на территории рассматриваемого мезометеорологического полигона. Результаты этого объективного анализа являются основой для расчета распространения и эволюции атмосферных загрязнений, который осуществляется программой ГИС-эколог.

Программно-алгоритмическое обеспечение этой подсистемы разработано на базе двух альтернативных методов пространственной интерполяции (экстраполяции) полей метеорологических величин, а именно: ММГУА и метода оптимальной интерполяции, в основу которого положено соотношение [22, 23]

$$\xi_0 = \bar{x}_0 + \sum_{i=1}^n p_i x'_i, \quad (6)$$

где ξ_0 и \bar{x}_0 – искомое и среднее значения метеорологической величины в узле регулярной сетки с индексом 0; $x'_i = \xi_i - \bar{x}_i$ – отклонение той же метеорологической величины от нормы в точках с индексом i ; n – число используемых станций; p_i – весовые коэффициенты, а также система линейных уравнений (СЛУ) вида

$$\sum_{i=1}^n p_i r_{ij} + \eta_j p_j = r_{0j} \quad (j = 1, 2, \dots, n), \quad (7)$$

где r_{0j} , r_{ij} – корреляционные функции метеорологической величины, рассчитанные с учетом расстояний l между узлами сетки и станциями и между станциями соответственно, а η_j – мера ошибки измерения [22].

Подобный комплексный подход к объективному трехмерному анализу мезометеорологических полей и соответствующий алгоритм подробно описаны в работе [24].

Конфигурация подсистемы объективного анализа мезометеорологических полей представлена в виде блок-схемы на рис. 5.

Из рис. 5 видно, что для этой конфигурации характерно наличие ряда функциональных блоков, каждый из которых несет определенную нагрузку.

Блок 1 – обеспечивает задание исходной информации, содержащей дату и срок объективного анализа; число опорных станций N_c (при $N_c \geq 3$) и их географические координаты (широту φ , долготу λ); число профилей P и количество уровней k ; координаты левого верхнего угла регулярной сетки и угол относительно оси «север – юг»; горизонтальный и вертикальный размеры полигона и шаг регулярной сетки Δl и, наконец, азимут между линиями, соединяющими левый верхний угол полигона и опорные станции, и осью с.–ю.

Блок 2 – обеспечивает выбор метеорологической величины и ввод требуемой аэрологической информации.

Блок 3 – служит для перевода координат станций и полигона из географической в прямоугольную систему координат.

Блок 4 – осуществляет проверку условия $P \geq k + 1$, где P – число профилей, а k – число уровней в нем, что обуславливает две схемы расчетов. При $P < k + 1$ объективный анализ проводится с помощью только метода оптимальной интерполяции, а при $P \geq k + 1$ тот же анализ осуществляется на основе комплексной схемы, т.е. с использованием того же метода оптимальной интерполяции и алгоритма ММГУА.

Блоки 5–10 – основные блоки, обеспечивающие при $P \geq k + 1$ расчет отклонений метеорологической величины от нормы, взятой из базы оперативной и режимной аэрологической информации (ОРАИ); определение расстояний (а по ним корреляционных функций) от рассматриваемого узла с индексом «0» до станций и между станциями соответственно; построение системы линейных уравнений (СЛУ) и расчет весовых коэффициентов p_i ; определение, на основе модели оптимальной интерполяции (6), искомых значений метеорологической величины для приземного уровня в каждом узле регулярной сетки; формирование (с учетом результатов

восстановления) пространственно-временных наблюдений; построение по ним и выбор наилучшей прогностической модели ММГУА для каждого узла той же сетки и, наконец, вычисление (на основе модели ММГУА) в тех же узлах и на всех недостающих высотах искомых значений метеорологической величины.

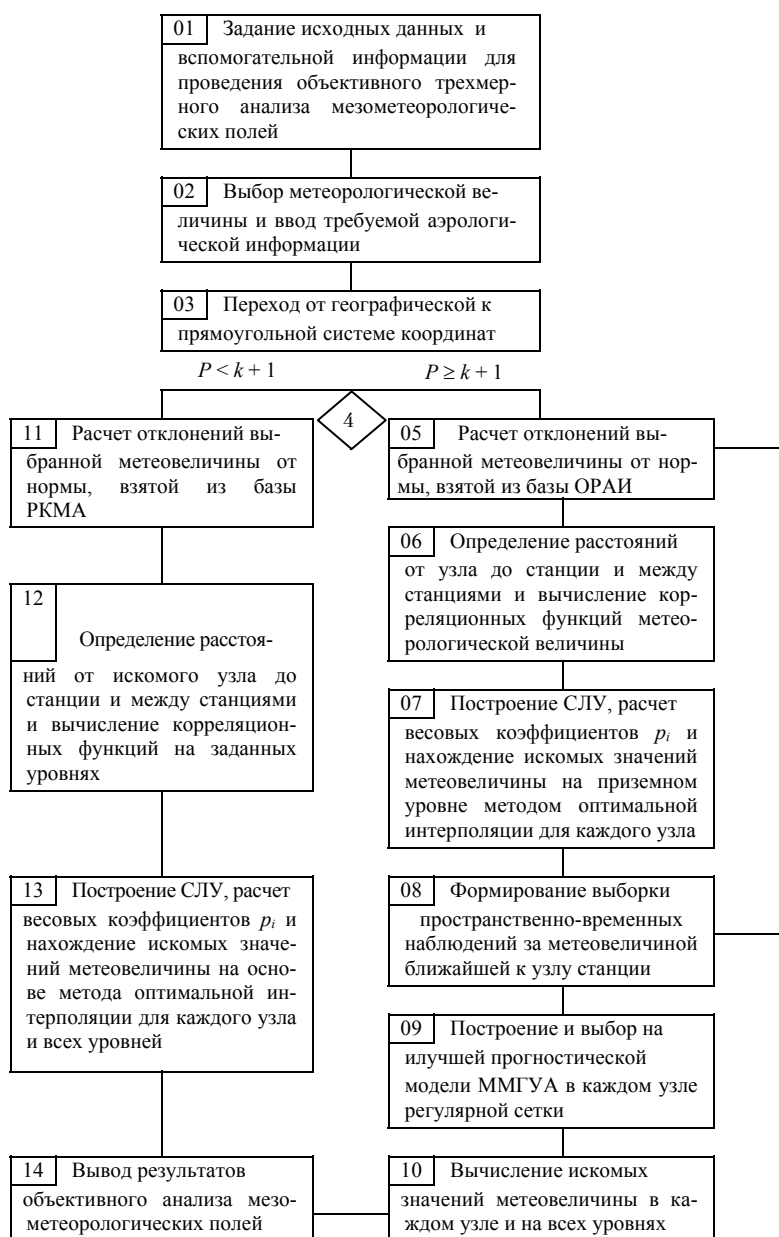


Рис. 5. Блок-схема подсистемы объективного анализа мезометеорологических полей

Блоки 11–13 – обеспечивают при $P < k + 1$ расчет отклонений метеорологической величины от нормы, заимствованной из базы региональных климатических моделей атмосферы (РКМА); определение расстояний (а по ним и корреляционных функций) от расчетного узла с индексом «0» до станций и между станциями соответственно; построение системы линейных уравнений и расчет весов p_i и, наконец, вычисление (на основе модели оптимальной интерполяции) искомого значения метеорологической величины для каждого узла регулярной сетки и на всех уровнях.

Блок 14 – обеспечивает вывод результатов объективного анализа. При этом выходные данные формируются в ASCII файле с именем RESULT, содержащем пояснительную инфор-

мацию (номер узла сетки m , а также дату и время объективного анализа) и вычисленные по всем высотам и для каждого узла регулярной сетки значения метеорологической величины.

4.5. Подсистема представления выходной информации

Эта подсистема АСМП является вспомогательной и предназначена для представления (в заданном формате) результатов объективного анализа мезометеорологических полей, а также другой (требуемой для решения экологических задач) информации, которые передаются с помощью интерфейса на диск, а уже затем с него все выходные данные поступают непосредственно в ГИС-эколог.

4.6. Интерфейс пользователя

Интерфейс пользователя обеспечивает работу всех подсистем АСМП. Запуск отдельного модуля (подсистемы) осуществляется из программы интерфейса пользователя.

Интерфейс пользователя АСМП программно реализован в Windows-приложении ASMP.EXE и ориентирован на работу в операционной среде Windows 3.1, являющейся более перспективной и эффективной (по сравнению с DOS) средой [25].

5. Программное обеспечение и технические характеристики системы

При выборе базовых программных средств, использованных при разработке программного обеспечения АСМП, учитывалась возможность их интегрирования в операционной среде Windows. Вторым аспектом, учитываемым при подобном выборе, явилось требование наилучшей программной совместимости отдельных программных модулей при работе в общем программном пакете.

Для выполнения второго требования разработка всех программных приложений, входящих в состав пакета АСМП, осуществлена на продуктах одной и той же фирмы Borland Inc., получивших широкое распространение среди пользователей и разработчиков различных баз данных. Исходя из этого, база региональных моделей атмосферы написана в СУБД Paradox 4.0 компании Borland Inc., подробное описание которой дается в [26]. По оценкам экспертов эта СУБД является одним из самых мощных систем управления реляционной базой данных по критерию быстродействия.

Для разработки Windows-приложения АСМП использован новейший продукт фирмы Borland Inc. – система Delphi, которая относится к системам быстрой разработки приложений. В системе Delphi используется новый язык программирования высокого уровня – Object Pascal, оснащенный самым быстрым в мире компилятором. Важным свойством этого языка является возможность вызывать внешние функции в стиле языка Си, что позволяет подключать к Windows-приложению, разработанному в Delphi, программы, написанные практически на любом из распространенных языков программирования, путем создания библиотек DLL (Dinamic Link Library). Последние представляют собой набор динамически вызываемых программ (только для решения конкретной задачи) и хранятся в отдельном файле.

При разработке DLL-библиотек в реализованной версии АСМП использована система программирования вида Microsoft Fortran 5.1, поскольку язык Фортран исторически предназначался для выполнения сложных научно-технических задач, с которыми мы имели дело при решении прикладных задач АСМП.

Что касается технических характеристик первой версии автоматизированной системы метеорологической поддержки, то она реализована на персональном компьютере PC/AT 386DX с оперативной памятью 4 Мбайт при наличии накопителя на жестком диске со свободными 80 Мбайт.

В заключение следует сказать, что хотя описанная выше автоматизированная система ориентирована главным образом на метеорологическую поддержку ГИС-эколог, однако принципы, заложенные в разработку этой системы, могут быть с успехом использованы и при создании других программно-вычислительных комплексов подобного рода.

1. Зуев В.Е., Кауль Б.В., Самохвалов И.В. и др. Лазерное зондирование промышленных аэрозолей. Новосибирск: Наука, 1986. 188 с.
2. Зуев В.Е., Зуев В.В. Дистанционное оптическое зондирование атмосферы. СПб.: Гидрометеоздат, 1992. 231 с.

3. Зуев В.Е., Зуев В.В. Лазерный экологический мониторинг газовых компонентов атмосферы. Итоги науки и техники. Сер. Метеорология и климатология. М.: ВИНТИ, 1992. 189 с.
4. Schultink G. // Can. J. Remote Sens. 1984. V 9. N 1. P. 4–18.
5. Shore W.G., Paulson R.W. // IAHS Publ. 1986. N 160. P. 13–21.
6. Комаров В.С. // Оптика атмосферы и океана. 1994. Т. 7. № 2. С. 119–131.
7. Зуев В.Е., Комаров В.С., Калинин А.Н., Михайлов С.А. // Оптика атмосферы и океана. 1994. Т. 7. № 2. С. 132–145.
8. Пененко В.В., Алоян А.Е. Модели и методы для задач охраны окружающей среды. Новосибирск: Наука, 1978. 150 с.
9. Белов П.Н., Комаров В.С. // Оптика атмосферы и океана. 1994. Т. 7. №2. С. 195–203.
10. Белов П.Н., Комаров В.С. // Оптика атмосферы и океана. 1996. Т. 9. №4. С. 435–439.
11. Комаров В.С., Солдатенко С.А., Соболевский О.М. // Оптика атмосферы и океана. 1996. Т. 9. №4. С. 440–445.
12. Белов П.Н., Борисенков Е.П., Панин Б.Д. Численные методы прогноза погоды. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 376 с.
13. Владимиров А.М., Ляхин Ю.Н., Матвеев Л.Т., Орлов В.Г. Охрана окружающей среды. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 423 с.
14. Зуев В.Е., Комаров В.С. Статистические модели температуры и газовых компонент атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 264 с.
15. Комаров В.С., Ременсон В.А. // Оптика атмосферы. 1988. Т. 1. №7. С. 3–16.
16. Комаров В.С., Ременсон В.А. // Оптика атмосферы и океана. 1995. Т. 8. №5. С. 741–750.
17. Михайлов С.А. // Оптика атмосферы и океана. 1994. Т. 7. №2. С. 265–273.
18. Methodology and Tools for Database Design / Ed.S.Ceri. Amsterdam: North-Holland, 1983. 217 p.
19. Комаров В.С., Акселевич В.И., Креминский А.В. // Оптика атмосферы и океана. 1994. Т. 7. №2. С. 231–243.
20. Комаров В.С., Креминский А.В. // Оптика атмосферы и океана. 1995. Т. 8. №7. С. 941–957.
21. Кочерга Ю.Л. // Автоматика. 1991. №5. С. 80–86.
22. Белоусов С.А., Гандин Л.С., Машкович С.А. Обработка оперативной метеорологической информации с помощью электронных вычислительных машин. Л.: Гидрометеиздат, 1968. 282 с.
23. Гордин В.А. Математические задачи гидродинамического прогноза погоды. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 264 с.
24. Комаров В.С., Креминский А.В. // Оптика атмосферы и океана. 1996. Т. 9. №4. С. 413–423.
25. Ливингстон Б. Секреты Windows 3.1. Киев: Диалектика, 1994. 384 с.
26. Каратыгин С.А., Тихонов А.Ф. Энциклопедия по СУБД Paradox 4.5 для Dos. Т. 1–2. М.: Мир, 1994. 1023 с.

Институт оптики атмосферы СО РАН,
Томск

Поступила в редакцию
29 декабря 1996 г.

V. S. Komarov, A. V. Kreminskii, N. Ja. Lomakina, A. N. Khvashchevskii. Computerized System for Meteorological Supply of Local and Regional Monitoring of Atmospheric Pollution.

The principles of construction, main functions, and configuration of computerized system, designed at the Institute of Atmospheric Optics SB RAS as meteorological supply for local and regional monitoring of atmospheric pollution, are examined. It is a part of geoinformation system «GIS-Ecolog». The specifications of the system are presented.