

**С.А. Михайлов**

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ РЕГИОНАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ МОЛЕКУЛЯРНОЙ АТМОСФЕРЫ**

Модели пространственно-временного распределения термодинамических величин и газовых компонентов атмосферы широко используются в качестве априорной информации при решении задач атмосферной оптики, дистанционного зондирования природной среды и численного моделирования процессов формирования земного климата. В статье представлены результаты разработки проекта базы данных региональных моделей молекулярной атмосферы, предназначенной для реализации на персональных ЭВМ.

Физическое состояние и химический состав атмосферы как молекулярно-газовой среды оказывают значительное влияние на процессы, происходящие в земной климатической системе, и механизмы распространения разнообразных загрязняющих веществ, возникающих как побочный продукт человеческой деятельности. Кроме того, атмосфера, взаимодействуя с электромагнитным излучением, оказывает существенное влияние на его распространение в результате целого ряда процессов, основными из которых являются процессы поглощения, молекулярно-аэрозольного рассеяния и рефракции. В связи с этим становится очевидным, что при решении задач климато-экологического мониторинга, атмосферной оптики и дистанционного зондирования (в том числе космическими средствами) необходимо учитывать особенности пространственно-временного распределения полей основных термодинамических величин и газовых компонентов атмосферы.

Для решения данной проблемы целесообразно использовать эмпирические модели метеорологических полей, отражающие особенности их горизонтальной и вертикальной статистической структуры, поскольку результаты исходных метеорологических наблюдений, как правило, не систематизированы, обладают избыточностью, а также требуют для хранения значительных объемов магнитных носителей и огромных ресурсных затрат на их обработку, что не позволяет использовать эти данные в оперативном режиме.

Для обработки спутниковых данных о состоянии земной климатической системы наибольшую ценность представляет информация о вертикальном строении атмосферы. Поэтому для проектирования космической аппаратуры и радиационной коррекции спутниковых данных на начальном этапе развития методов космического зондирования применялись модели стандартной атмосферы [1, 2], а впоследствии – справочные модели атмосферы. Наиболее известными из них являются модели пакета LOWTRAN [3], которые содержат среднезональные профили вертикального распределения давления и температуры воздуха, а также концентрации водяного пара, озона, аэрозоля и некоторых малых газов в трех широтных зонах: полярной, умеренной и тропической. По мере накопления данных о физических параметрах и химическом составе атмосферы число справочных моделей возросло. В настоящее время известен целый ряд таких моделей, которые отражают особенности вертикального распределения термодинамических величин и малых газовых составляющих атмосферы в различных районах земного шара [4 – 10].

Одной из наиболее полных и обеспеченных данными является физико-статистическая модель молекулярной атмосферы, разработанная в Институте оптики атмосферы СО РАН под руководством В.С. Комарова [11–16]. Модель основана на результатах объективного районирования северного полушария по комплексу < давление – температура – влажность – озон > [11, 12, 17] и содержит для каждого из выявленных квазиоднородных районов характеристики вертикальной статистической структуры основных термодинамических параметров (давление, температура и влажность воздуха, зональная и меридиональная составляющие скорости ветра) и оптически активных газовых компонентов атмосферы ( $O_3$ ,  $CO_2$ ,  $CO$ ,  $CH_4$ ,  $N_2O$ ,  $NO$ ,  $NO_2$ ,  $SO_2$ ,

$\text{HNO}_3$ ), играющих важную роль в формировании таких климатических явлений, как парниковый эффект, убывание содержания озона в стратосфере полярных широт и образование кислотных дождей.

Для описания вертикальной статистической структуры физических параметров атмосферы в модели ИОА СО РАН используются следующие статистические характеристики:

а) для комплекса основных термодинамических величин и газовых компонент атмосферы (давление, температура воздуха, зональная и меридиональная составляющие скорости ветра, водяной пар, озон):

– вектор средних значений

$$\bar{\xi}(p_i) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \xi_k(p_i); \quad (1)$$

– вектор стандартных отклонений

$$\sigma_v(p_i) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (\xi_k(p_i) - \bar{\xi}(p_i))^2}; \quad (2)$$

– элементы (правая треугольная часть) автокорреляционной матрицы

$$\text{cor}(p_i, p_j) = \frac{1}{N \sigma(p_i) \sigma(p_j)} \sum_{k=1}^N (\xi_k(p_i) - \bar{\xi}(p_i)) (\xi_k(p_j) - \bar{\xi}(p_j)), \quad (3)$$

– собственные векторы автокорреляционной матрицы  $F_\alpha(p_i)$ ;

– собственные значения автокорреляционной матрицы  $\lambda_\alpha$ ;

– сумма диагональных элементов (след) автоковариационной матрицы  $D$ ;

б) для комплекса газовых компонентов атмосферы ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{HNO}_3$ ):

– вектор средних значений;

– вектор стандартных отклонений.

Здесь  $\xi_k(p_i)$  –  $k$ -е значение метеовеличины  $\xi$  на  $i$ -й изобарической поверхности с давлением  $p$ , гПа;  $N$  – длина выборки;

$\alpha$  – номер собственного вектора и соответствующего собственного значения.

В целях обеспечения оперативности использования региональных моделей молекулярной атмосферы при решении задач проектирования космической аппаратуры и радиационной коррекции спутниковых данных автором разработан проект компьютерной версии базы этих моделей, который обеспечивает методологическую основу для программной реализации базы данных на персональных вычислительных платформах, совместимых с IBM PC / AT. Компьютерная версия базы региональных моделей молекулярной атмосферы предназначена для:

– систематизации и оптимальной организации хранения и доступа к моделям атмосферы;

– поиска требуемой модели в соответствии с запросом пользователя;

– представления характеристик модели в табличном и/или графическом виде;

– экспорта параметров требуемой модели в системы автоматизированного проектирования космической аппаратуры или радиационной коррекции спутниковых данных;

– обеспечения природоохранных организаций информацией о климатических значениях термодинамических величин атмосферы и фоновых концентрациях основных загрязняющих примесей в интересующем физико-географическом районе.

В настоящей статье рассматриваются результаты проектирования базы региональных моделей молекулярной атмосферы на основе принципов методологии DATAID-1, разработанной в Миланском политехническом институте [18]. В соответствии с требованиями этой методологии проектирование центральной базы данных (БД) подразделяется на 4 этапа: – анализ требований; – концептуальное проектирование; – логическое проектирование; – физическое проектирование.

При проектировании базы региональных моделей молекулярной атмосферы на этапе анализа требований нами был разработан словарь проектных решений, который включает в себя

словарь данных и словарь операций, содержащие спецификации данных и прикладных задач соответственно.

На следующем этапе строилась концептуальная модель базы региональных моделей молекулярной атмосферы. Обычно концептуальная модель рассматривается как формализованное представление статических (данные) и динамических (операции) требований БД, которые относятся к одной предметной области [19]. В методологии DATAID-1 концептуальное проектирование основывается на использовании семантической модели, позволяющей представить предметную область в виде модели <сущность – связь> (ER-модели), которая впервые была предложена П. Ченом [20]. Следует отметить, что средства DATAID-1 позволяют строить более сложные семантические модели, называемые обобщенными ER-моделями (EER-модели), которые включают в себя обобщающие иерархии и *n*-арные связи.

На этапе концептуального проектирования строилась также и глобальная операционная схема базы региональных моделей молекулярной атмосферы, которая представляет собой синтез локальных операционных схем. При этом каждая из локальных операционных схем отражает один из видов операций над данными, которые присущи описываемой предметной области и включаются в состав проектируемой БД.

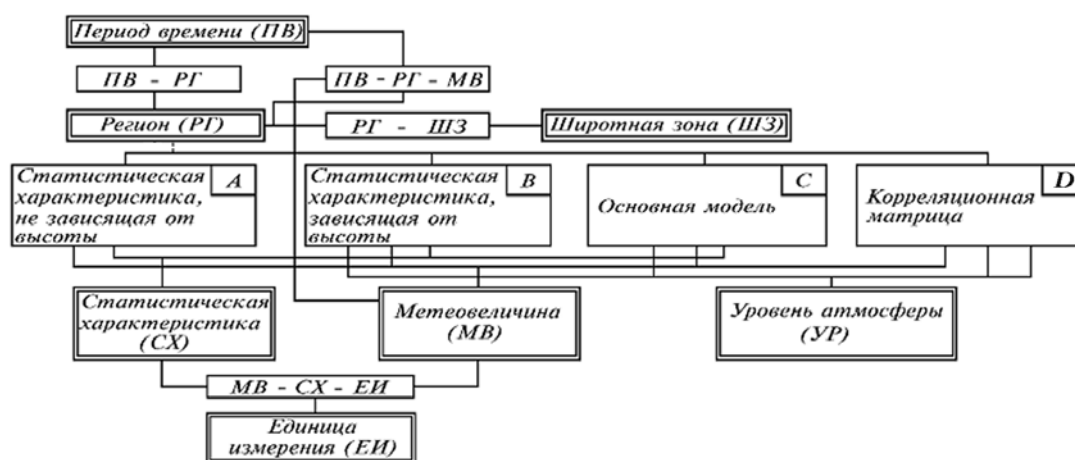


Рис. 1. Глобальная EER-модель предметной области <Региональные модели молекулярной атмосферы>

На рис. 1 приводится построенная на этапе концептуального проектирования глобальная EER-модель данной предметной области. При этом сущности данной предметной области выделены на рисунке двойной рамкой, а связи – одинарной. Следует отметить, что все связи порядка 3 и выше являются *n*-арными, а класс принадлежности каждой из сущностей является обязательным. Семантически наиболее значимыми являются связи *A*, *B*, *C* и *D* (они же подчиненные сущности), которые содержат основной массив информации о параметрах региональных моделей молекулярной атмосферы. Отметим, что связи *B* и *C* имеют одинаковую реляционную структуру (см. таблицу), однако для удобства они представлены как два разных отношения. При этом связь *C* (основная модель) соответствует наиболее часто используемой информации о вертикальном распределении средних значений и стандартных отклонений основных термодинамических параметров и оптически активных компонентов атмосферы.

На рис. 2 изображена глобальная операционная схема базы региональных моделей молекулярной атмосферы, которая также была построена на этапе концептуального проектирования. Из рисунка видно, что система управления БД (СУБД) поддерживает 3 группы операций, связанных с ведением БД, отображением ее текущего состояния и поиском региональных моделей. Здесь же приводятся и сущности (отношения БД), которые участвуют в каждой из указанных групп операций.

На этапе логического проектирования строились таблицы логического доступа, содержащие количественные параметры доступа к данным. Производилось также и упрощение глобальной схемы данных, при котором иерархии и множественные связи реструктурировались в неиерархические сущности и бинарные связи. Затем на основе упрощенной схемы строилась предварительная реляционная логическая модель данных и осуществлялась проверка схемы базы данных **R** на соответствие нормальной форме Бойса–Кодда (НФБК).

Как известно, нормализация схем баз данных является одним из важнейших этапов проектирования реляционных БД и позволяет избавиться от целого ряда аномалий, возникающих в процессе эксплуатации БД (в частности, аномалий обновления), и информационной избыточности в отношениях. Нормальная форма Бойса–Кодда является наиболее сильной из форм, которые широко применяются в практике проектирования БД.

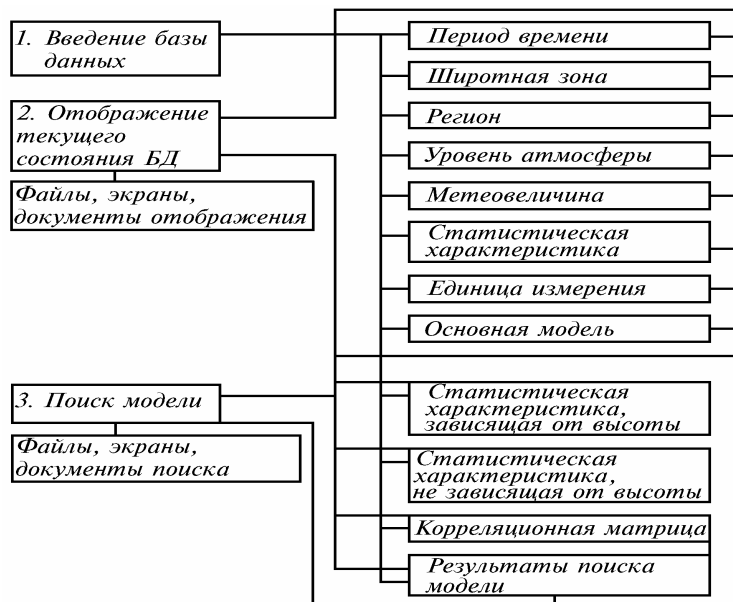


Рис. 2. Глобальная операционная схема базы региональных моделей молекулярной атмосферы

Согласно [21] схема базы данных  $\mathbf{R}$  находится в нормальной форме Бойса–Кодда относительно множества функциональных зависимостей  $F$ , если каждая схема отношения  $R \subseteq \mathbf{R}$  находится в НФБК относительно  $F$ . На основании этого каждая из схем отношений  $R \subseteq \mathbf{R}$  базы региональных моделей молекулярной атмосферы рассматривалась нами на соответствие НФБК. В случае если соответствие НФБК нарушалось, осуществлялся процесс декомпозиции схемы отношения  $R$  на две схемы отношений  $R_1 \subseteq \mathbf{R}$  и  $R_2 \subseteq \mathbf{R}$ , которые, вообще говоря, могут пересекаться между собой. Этот процесс позволял удалить транзитивную зависимость атрибутов из  $R$  и осуществлялся нами до тех пор, пока все полученные отношения не приходили в соответствие с НФБК. Реляционная схема базы данных региональных моделей молекулярной атмосферы, полученная нами в результате, приводится в таблице. Следует отметить, что в таблице указаны только ключевые поля отношений БД, которые позволяют однозначно идентифицировать тот или иной кортеж  $t$  рассматриваемого отношения  $R$ .

В качестве физической схемы данных на заключительном этапе проектирования базы региональных моделей молекулярной атмосферы была выбрана реляционная схема, поддерживаемая драйвером DBF-NTX. Этот драйвер поддерживается семейством языков XBase (dBase, Fox Pro, Clipper и др.), которые обеспечивают эффективную программную реализацию систем управления реляционными БД (СУБД).

Остановимся также на особенностях пространственной организации данных базы региональных моделей молекулярной атмосферы. Как указывалось в статье, каждая из моделей, входящих в состав БД, представляет собой набор статистических характеристик вертикального распределения основных термодинамических параметров и газовых компонентов атмосферы, соответствующих одному из квазиоднородных районов на территории северного полушария. При таком подходе каждый квазиоднородный район представляет собой пространственный объект (полигон) нерегулярной формы, а соответствующая ему региональная модель рассматривается как некоторое множество семантически значимых дескрипторов.

Для описания такого рода объектов нами использован подход, реализованный ранее в Канадской геоинформационной системе CGIS [22]. При этом полное описание полигона и ре-

гиональной модели обеспечивается формированием двух наборов схем отношений  $R_p \subseteq \mathbf{R}$  и  $R_d \subseteq \mathbf{R}$ , которые представляют собой непересекающиеся подмножества схемы базы данных  $\mathbf{R}$ .

Подмножество схем отношений  $R_p$  содержит информацию о пространственной локализации полигонов, которая представлена упорядоченными значениями географических координат (с точностью до  $2,5^\circ$ ) их узлов, тогда как подмножество схем отношений  $R_d$  содержит дескриптивную информацию и несет основную семантическую нагрузку.

Реляционная схема базы данных региональных моделей молекулярной атмосферы

№ п/п	Сущность	Связь	Ключевые поля
1	Период времени		1. Код периода
2	Широтная зона		1. Код широтной зоны
3	Регион		1. Код региона
4	Уровень атмосферы		1. Код уровня
5	Метеовеличина		1. Код метеовеличины
6	Статистическая характеристика		1. Код статистической характеристики
7	Единица измерения		1. Код единицы измерения
8		Метеовеличина Статистическая характеристика Единица измерения	1. Код метеовеличины 2. Код статистической характеристики 3. Код единицы измерения
9		Период времени Регион Метеовеличина Статистическая характеристика	1. Код периода 2. Код региона 3. Код метеовеличины 4. Код статистической характеристики
10, 11		Период времени Регион Метеовеличина Статистическая характеристика Уровень атмосферы	1. Код периода 2. Код региона 3. Код метеовеличины 4. Код статистической характеристики 5. Код уровня атмосферы
12		Период времени Регион Метеовеличина Уровень атмосферы (2)	1. Код периода 2. Код региона 3. Код метеовеличины 4. Код уровня (строка матрицы) 5. Код уровня (столбец матрицы)
13		Период времени Регион Метеовеличина	1. Код периода 2. Код региона 3. Код метеовеличины

В заключение отметим, что приведенные выше результаты проектирования являются основой для программной реализации первой версии базы региональных моделей молекулярной атмосферы, на основе которой предусматривается разработка более совершенных версий данного программного продукта. Совершенствование базы региональных моделей предполагается вести в следующих направлениях:

разработка графического интерфейса на базе системы обработки картографической информации с использованием электронного атласа, содержащего карты физико-географических районов северного полушария в различных проекциях;

совершенствование региональных моделей путем расширения числа физических параметров атмосферы и повышения статистической обеспеченности характеристик моделей за счет включения результатов наблюдений, полученных в последние годы;

разработка сетевой версии базы моделей молекулярной атмосферы для эксплуатации в локальных и региональных сетях.

1. U. S. Standard Atmosphere. U.S. Government Print Office, Washington, 1976. 289 p.
2. ГОСТ 440 – 64. Таблицы стандартной атмосферы. М.: Изд-во стандартов, 1964.
3. Kneizys J. I. et al. Atmospheric Transmittance / Radiance Code LOWTRAN 5 // Env. Res. Paper, AFGL-TR-80-0067. N 697. 1980.
4. Keating G. M., Pitts M. C. // Adv. Space Res. 1987. V. 7. N 9. P. 37 – 47.
5. Barnett J. J., Corney M. // Handbook for MAP. 1985. V. 16. P. 47 – 85.
6. Fleming E. L., Chandra S., Schoeberl M. R., Barnett J. J. Monthly Mean Global Climatology of Temperature, Wind, Geopotential Height, and Pressure // NASA Tech. Mem. TM – 100697, 1988.
7. International Standard ISO 5878. Reference Atmosphere for Airspace Use. ISO/TS-20/SC-6(USA-10), 102E, 1982. 51 p.
8. Ananthasayanam M. R., Narasimha R. A. // Handbook for MAP. 1985. V. 16. P. 197 – 204.

9. Cole A.E., Cantor A.J. Air Force Reference Atmosphere // Air Force Surveys in Geophysics, AFGL-TR-78-0051, N 382, 1978.
10. McClatchey R.A., Bolle H.J., Kondratyev K.Ya. A Preliminary Cloudless Standard Atmosphere for Radiation Computation. Boulder, Colorado, 1986. 53 p.
11. Зуев В.Е., Комаров В.С. Статистические модели температуры и газовых компонент атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 264 с.
12. Комаров В.С., Ременсон В.А. // Оптика атмосферы. 1988. Т. 1. N 7. С. 3–16.
13. Комаров В.С., Михайлов С.А. // Метеорология и гидрология. 1986. N 3. С. 44–50.
14. Комаров В.С., Михайлов С.А., Ломакина Н.Я. // Оптико-метеорологические исследования земной атмосферы. Новосибирск: Наука, 1987. С. 3–16.
15. Комаров В.С., Михайлов С.А., Ромашов Д.Н. Статистическая структура вертикального распределения атмосферного озона. Новосибирск: Наука, 1988. 77 с.
16. Комаров В.С., Михайлов С.А. // Проблемы комплексной автоматизации: Тр. IV Межд. научно-техн. конф. Киев, 17–20 окт. 1990 г. Киев: КПИ, 1990. С. 94–100.
17. Михайлов С.А. Пространственно-временная структура вертикального распределения озона и ее малопараметрическое описание. Автореф. дис. ... канд. географ. наук. Л.: ЛГМИ, 1988. 16 с.
18. Methodology and Tools for Database Design / Ed. S. Ceri. Amsterdam: North-Holland, 1983.
19. Date C.J. An Introduction to Data Base System. Vol. 1–2. Menlo-Park, CA: Addison-Wesley Publ. Co., 1986.
20. Chen P.P.-S. // ACM TODS. 1976. V. 1. N 1. P. 9–36.
21. Мейер Д. Теория реляционных баз данных. М.: Мир, 1987. 608 с.
22. Computer Software for Spatial Data Handling: V. 1–3 / Ed. D.F. Mable // Ottawa, Ontario: IGU, 1981. 1042 p.

Институт оптики атмосферы  
СО РАН, Томск

Поступила в редакцию  
15 ноября 1993 г.

**S. A. Mikhailov. Projection of the Database for Regional Models of the Molecular Atmosphere.**

The models of spatio – temporal distribution of the gas and thermodynamic components of the atmosphere are urgently needed as an *a priori* information for solving a lot of problems of atmospheric optics, remote sensing of the environment and numerical modeling of the Earth's climate formation processes. Some results of the development of a database for creation of models of the molecular atmosphere to be performed on a PC are presented in this paper.