

Г.С. Ривин, К.П. Куценогий, Е.Г. Климова, П.В. Воронина, А.И. Смирнова

МОДЕЛИ ДЛЯ ОПИСАНИЯ МЕТЕОПОЛЕЙ И ПОЛЕЙ КОНЦЕНТРАЦИЙ ГАЗООБРАЗНЫХ И АЭРОЗОЛЬНЫХ ПРИМЕСЕЙ В СИБИРСКОМ РЕГИОНЕ

Описана работа, проводимая в рамках проекта «Аэрозоли Сибири», по созданию для Сибирского региона комплексной системы математического моделирования атмосферных процессов и экологического мониторинга. Эта система включает в себя систему усвоения метеоданных, модель переноса газообразных и аэрозольных примесей, базу данных «Аэрозоли Сибири» по данным регионального мониторинга. С помощью вычислительного эксперимента показана эффективность системы.

1. Введение

В рамках проекта «Аэрозоли Сибири» [1] в настоящее время для Сибирского региона разрабатывается комплексная система математического моделирования атмосферных процессов и экологического мониторинга для решения задач охраны окружающей среды, проведения экспертных оценок антропогенного воздействия.

Эта система включает в себя систему усвоения метеоданных, модель переноса газообразных и аэрозольных примесей, базу данных «Аэрозоли Сибири» на основе регионального мониторинга.

Описание входящих в комплексную систему основных компонентов (региональных моделей атмосферы и переноса примесей, системы усвоения метеоданных) приводится в [2–4].

Важной составной частью этой системы являются данные измерений как метеорологических полей, так и газообразных и аэрозольных примесей. Для получения полной картины загрязнения по данным измерений в отдельных пунктах требуется разработка алгоритмов обработки этого типа данных.

В настоящее время проводится работа по созданию базы данных, включающей все эти компоненты, с использованием концепции комплексной обработки данных метеорологической и аэрозольной информации и с применением опыта разработки системы усвоения метеоданных [3].

2. База данных

Для проведения вычислительного эксперимента одной из важнейших задач являются создание и доступ к базам данных наблюдений. База данных «Аэрозоли Сибири» состоит из двух основных компонентов: архива данных и математического обеспечения для его создания на основе данных наблюдений, контроля информации, сопровождения, выборки, сортировки, графической визуализации и дружественного интерфейса. Для разработки этого математического обеспечения используется язык программирования С.

В настоящее время подготовлен архив с данными об аэрозолях, проводится программирование и отладка указанных выше модулей. Так как проведение исследования трансформации, переноса и стока аэрозолей требует знания метеорологической информации, то необходима разработка связанной с базой данных «Аэрозоли Сибири» системы усвоения метеоданных (как наблюдений, так и результатов их анализа) для восстановления метеополей изучаемого региона с достаточной степенью точности.

Кратко опишем состав архивов, содержащих данные об аэрозолях и метеорологических элементах.

2.1. *Архив метеорологической информации*

В [2, 6] приведен обзор современных систем усвоения метеоданных и основных баз данных. Из обзора видно, что наиболее полной в настоящее время является база метеоданных, описанная в [8]. Она подготовлена в совместном проекте Национальных центров прогноза окружающей среды США (NCEP USA) и Национального центра атмосферных исследований США. База включает в себя как данные наблюдений, так и поля для всего земного шара за 1957–1996 гг., проанализированные с помощью несколько упрощенной для экономии времени обработки (удвоены шаги по пространственным горизонтальным переменным) версии оперативной системы усвоения данных NCEP USA.

Исходя из этого, эта база выбрана нами с целью подготовки необходимого архива метеоданных для Сибирского региона.

2.2. *Архив данных «Аэрозоли Сибири»*

Свойства аэрозолей определяются спектром размеров, концентрацией и химическим составом частиц. Эти характеристики составляют основу разрабатываемого архива данных по аэрозолям Сибири [5]. Кроме того, в архив входит информация о месте и времени наблюдения, информация о приборах, использованных для наблюдений, методе анализа аэрозолей, результаты статистической обработки.

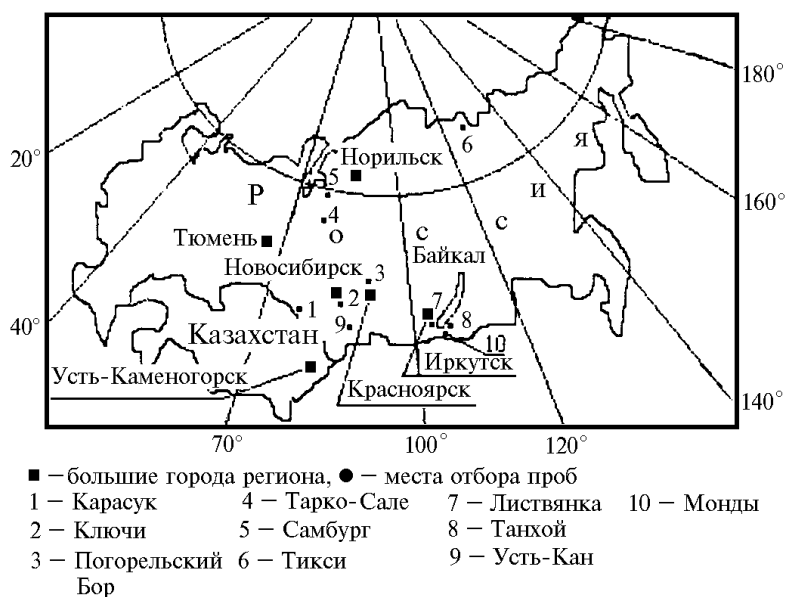


Рис. 1. Места отбора аэрозольных проб в Сибири

На рис. 1 и в табл. 1 приведены место и время отбора аэрозольных проб в Сибири. Для сбора проб использовались малообъемные и высокообъемные заборники, а также многоступенчатые и двухступенчатые импакторы, разделяющие аэрозольные частицы по размерам.

Анализ проб проводился в основном методом рентгенофлуоресцентного анализа. Часть данных анализировалась нейтронно-активационным методом. Использовались также методы ионной и газожидкостной хроматографии. В табл. 2 приведен список химических элементов, определяемых различными методами анализа и уже обработанных к настоящему времени. Для них рассчитаны статистические характеристики по каждому периоду измерения: среднегеометрическое значение, среднеквадратическое отклонение, коэффициент обогащения. Кроме того, проведен корреляционный и факторный анализ концентраций элементов.

Предполагается в дальнейшем наполнять этот архив наблюдениями, предоставляемыми и другими экспедициями, для совместного использования объединенного архива.

Т а б л и ц а 1

Список экспедиций сбора аэрозольных проб в Сибири

Место отбора	Начало	Конец
оз. Байкал	15.06.91	10.07.91
Карасук	05.02.92	04.03.92
Карасук	20.08.92	03.09.92
Ключи	21.08.92	04.09.92
Ключи	12.03.93	24.03.93
Ключи	11.06.93	25.06.93
оз. Байкал	02.09.93	08.09.93
Ключи	01.09.93	08.09.93
ННЦ	21.10.93	19.11.93
ННЦ	04.01.94	18.01.94
Ключи	04.01.94	18.01.94
Барнаул	01.01.94	31.01.94
Ключи	10.06.94	01.07.94
Чаны	10.06.94	27.06.94
Завьялово	25.06.94	07.07.94
Барнаул	10.06.94	22.06.94
ННЦ	24.01.95	07.02.95
Ключи	24.01.95	07.02.95
Ключи	10.06.95	26.06.95
ННЦ	10.06.95	24.06.95
Красноярск	14.06.95	18.06.95
Усть-Каменогорск	29.07.95	24.08.95
Ключи	18.08.95	02.09.95
Алтай	10.10.95	20.10.95
Ключи	28.11.95	28.12.95
Красноярск	28.11.95	12.12.95
Тюменская область	10.01.96	28.01.96
Ключи	05.06.96	30.06.96
Синеморье	07.07.96	28.07.96
Синеморье	29.08.96	10.09.96

Т а б л и ц а 2

Химический состав атмосферных аэрозолей

Методы анализа	Компонент	Элемент
Нейтронно-активационный анализ	Многоэлементный состав	Ag, Ba, Cr, Cu, Fe, Mo, Nd, Al, V, Mn, Eu, Sb, Na, Sc, Cd, Lu, Yb, Hf, Rb, Au, Br, Cs, W, Th, As, Ca, Cl, Co, La, Ni, Zn, K, Ti
Атомная адсорбция АА	Многоэлементный состав	Na, Al, Ca, V, Mn, Fe, Co, Ni, Zn, Cu, Ag, Cd, Sb, K, Be
Атомная эмиссия АЕ	Многоэлементный состав	Mg, Al, Ca, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, As, Ag, Cd, Sb, Ba, Au, Pb, Be, Si
Рентгенофлуоресцентный анализ	Многоэлементный состав	Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Pb
Ионная хроматография	Ионный состав	SO ₄ ²⁻ , NO ₃ ⁻ , F ⁻ , Br ⁻ , Cl ⁻ , HCO ₃ ⁻ , Ca ₂ ⁺ , Mg ₂ ⁺ , K ⁺ , Na ⁺ , NH ₄ ⁺
Газожидкостная хроматография	Углерод	Органический Неорганический
Анализ индивидуальных частиц	–	Al, Si, Ca, S, Fe, Ti, Pb, Cl

3. Система усвоения метеоданных

Разработанная в ИВТ СО РАН система усвоения метеорологических данных состоит из следующих блоков:

- численный (объективный) анализ данных наблюдений,
- прогноз по математической модели атмосферы,
- инициализация начальных полей геопотенциала и ветра,

– интерпретация результатов.

Отметим, что система усвоения разработана на основе концепции заменяемости блоков. В систему входят, помимо основного меню для управления процессом вычислительного эксперимента, различные варианты процедуры анализа, инициализации, версии прогностической модели и т.д.

Численные эксперименты для исследования ее свойств описаны в [3]. В них использована центрированная относительно Новосибирска сетка $26 \times 22 \times 15$ с шагом 300 км по горизонтали для 15 уровней (1000, 850, 700, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100, 70, 50, 30, 20, 10 мбар). Как и в [4], использованы боковые граничные условия с усвоением информации о тенденции геопотенциала в окрестности боковых границ и заданием остальных полей по данным о 12-часовом прогнозе Национального метеорологического центра США (ныне NCEP USA).

Численные эксперименты показали эффективность разработанной системы и экономичность. Так, полный шаг трехмерного многоэлементного анализа высоты изобарической поверхности и ветра с первичной обработкой исходных данных и средним порядком системы нормальных уравнений, решаемых для каждого бокса, равным 100, занимает на РС 486 30 мин, а прогноз на 12 ч – примерно 20 с.

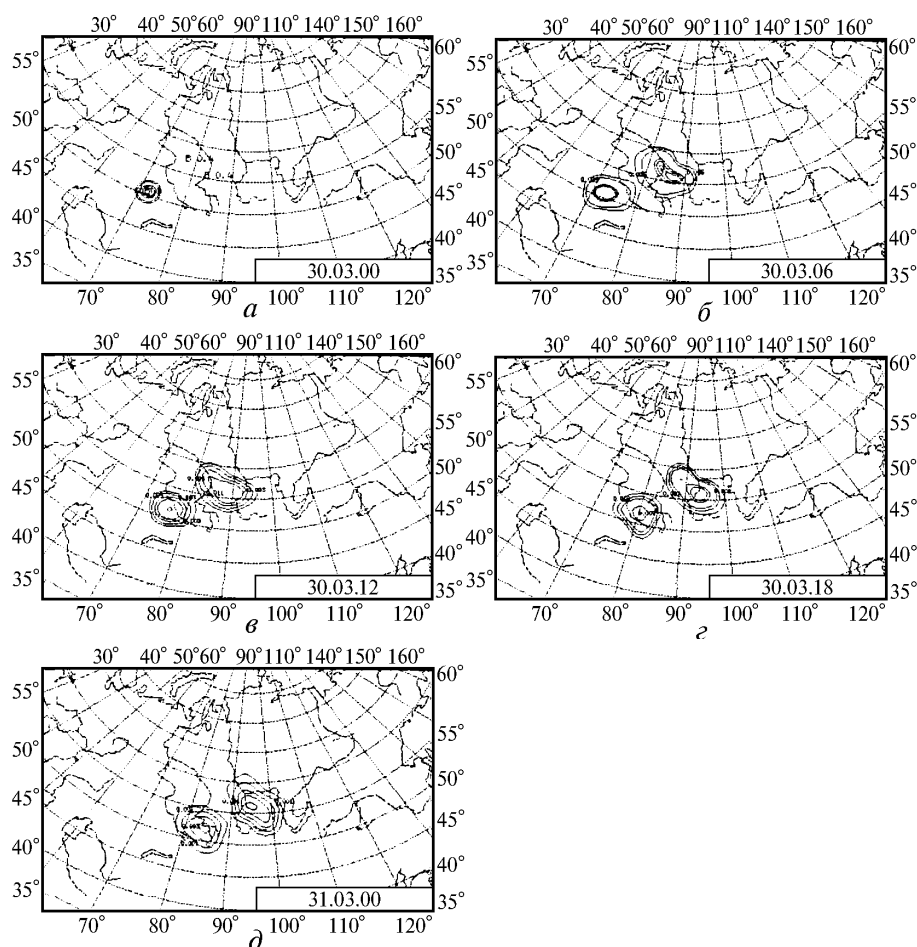


Рис. 2. Поля суточного переноса концентраций аэрозоля на поверхности 850 мбар через каждые 6 ч, начиная с 30 марта 1991 г. (ИВТ СО РАН)

4. Модель переноса примесей

Математически процесс переноса пассивных примесей описывается с помощью следующего уравнения:

$$\eta_t + \text{div}(U\eta) + L\eta = D\eta + F.$$

В этом уравнении η – концентрация аэрозольной субстанции, мигрирующей с воздушным потоком; U – вектор скорости воздушных частиц; L – оператор, описывающий локальные преобразования примесей; $D\eta$ – диффузионный член и F – описывает источник субстанции. Решение этого уравнения находится методом расщепления с монотонными разностными схемами на каждом шаге расщепления [7].

Для изучения свойств разработанной модели по реальным метеорологическим данным, полученным с помощью описанной выше системы усвоения метеоданных, проведен методический вычислительный эксперимент с тремя промоделированными выбросами в атмосферу. В модели переноса использована сетка с шагом 30 км по горизонтальным переменным ($251 \times 211 \times 19$ узлов сетки). На рис. 2 приведены поля суточного переноса концентраций аэрозоля на поверхности 850 мбар через каждые 6 ч, начиная с 30 марта 1991 г. Оценка методических экспериментов показала применимость разработанной модели переноса и системы усвоения для проведения изучения переноса и стока аэрозолей в Сибирском регионе.

5. Заключение

Проведенная верификация системы усвоения и модели переноса аэрозолей показала эффективность разработанной системы и модели. В настоящее время проводится работа по подготовке и проведению вычислительного эксперимента с переносом примесей с реальными данными не только об атмосферных процессах, но и данных мониторинга аэрозолей. Проводимая работа по подготовке базы данных поможет не только в обеспечении экспериментов такого типа, но и даст возможность его расширения по данным экспедиционных работ других групп исследователей и совместного с ними его использования.

Развиваемая комплексная система позволит выполнить разнообразные вычислительные эксперименты по сценарному моделированию распространения аэрозоля.

Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (гранты 94-05-17-181; 95-05-15581).

1. Куценогий К.П. // Оптика атмосферы и океана. 1994. Т. 7. N 8. С. 1015–1021.
2. Ривин Г.С. // Оптика атмосферы и океана. 1996. Т. 9. N 6. С. 780–785.
3. Климова Е.Г., Ривин Г.С. // Метеорология и гидрология. 1996. N 12. С. 19–26.
4. Ривин Г.С., Медведев С.Б. // Метеорология и гидрология. 1995. N 5. С. 13–22.
5. Куценогий К.П. // Оптика атмосферы и океана. 1996. Т. 9. N 6. С. 704–711.
6. Климова Е.Г., Ривин Г.С. // Вычислительные технологии. Т. 2. N 4. Новосибирск: ИВТ СО РАН. 1993. С. 235–240.
7. Ривин Г.С., Воронина П.В. // Оптика атмосферы и океана. Т. 10. N 6. С. 623–633.
8. Kalnay E., Kanamitsu M., Kister R., Collins W., Deaven D., Gandin L., Iredell M., Saha S., White G., Woolen J., Zhu Y., Chellaiah M., Ebisazaki W., Higgins W., Janowiak J., Mo K.S., Ropelewski C., Wang J., Reynolds R., Roy Jenne, and Dennis Joseph // Bulletin of the American Meteorological Society. 1996. V. 77. N 3. P. 437–471.

Институт вычислительных технологий СО РАН
Институт химической кинетики и горения СО РАН, Новосибирск

Поступила в редакцию
16 января 1997 г.

G.S. Rivin, K.P. Koutzenogii, E.G. Klimova, P.V. Voronina, A.I. Smirnova.
The Models for Description of the Meteofields and Fields of Concentrations of Gaseous and Aerosol Admixtures in Siberian Region.

The creation of complex system on mathematical modeling of atmospheric processes and ecological monitoring in the context of the project «Aerosols of Siberia» is described. This system consists of the data assimilation system, the gaseous and aerosol pollutants transport model, the data-base «Aerosols of Siberia» on evidence of the regional monitoring. The advantages of this system are demonstrated with the help of the computational experiment.