

РАЗРАБОТКА ЭЛЕМЕНТОВ ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ВЕБ-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ РЕГИОНАЛЬНЫХ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ*

Е. П. Гордов, И. Г. Окладников, А. Г. Титов

Институт мониторинга климатических

и экологических систем СО РАН,

Сибирский центр климато-экологических исследований,

Томск, Россия

e-mail: gordov@scert.ru, oig@scert.ru, titov@scert.ru

In this paper we present our results on development of the web-based technologies for an information-computational system aimed at an interdisciplinary study of the Siberian environment dynamics. This dynamics is driven by the natural and anthropogenic factors. The current state of the system developed for processing and visualization of meteorological and climatic data is reported. In particular, the system allows calculating the dynamic and statistical characteristics of the corresponding meteorological and climatic parameters in the selected region. Also described is a web based system for the air quality assessment at the city of Tomsk and its suburbs. This system relies on the results of numerical modeling of air pollution transport and transformation processes. GrADS open source software has been used for visualization of results. The graphical user interface is implemented using HTML, PHP and JavaScript languages.

Введение

В настоящее время наборы данных о характеристиках окружающей среды активно применяются в различных областях наук о Земле для прогноза, моделирования и интерпретации состояния климата для разных пространственных и временных масштабов и сценариев. Особенную важность эти вопросы представляют для изучения региональных природно-климатических процессов [1]. К настоящему времени существует значительное число доступных в сети Интернет архивов, содержащих огромное количество

*Работа выполнена в рамках Междисциплинарной программы СО РАН 4.5.2 “Разработка научных основ распределенной информационно-аналитической системы на основе веб- и ГИС-технологий для междисциплинарных исследований” при частичной поддержке интеграционного проекта СО РАН № 34, Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 05-059810) и проекта 6 Рамочной программы ЕС Enviro-RISKS.

© Институт вычислительных технологий Сибирского отделения Российской академии наук, 2007.

данных, полученных в результате измерений или численного моделирования характеристик атмосферы и окружающей среды. Эти данные различаются по способу получения (стационарные или мобильные локальные измерения, удаленное зондирование с самолетов и спутников, результаты моделирования и реанализа), физическому размещению и доступу, а также по формату файлов, в которых они хранятся. Нередко программное обеспечение для обработки данных, используемое в одной организации, несовместимо с программным обеспечением, используемым в других научных организациях. Все это не только затрудняет обмен данными и результатами, но также усложняет возможность их сравнения, что уменьшает достоверность выполняемого на этой основе анализа. В результате обработка, сравнение и визуализация данных, полученных от разных источников или организаций, становятся достаточно трудоемкой задачей, а комплексное практическое применение полученных результатов становится практически невозможным. Заметим, что традиционный подход к обработке этих данных и анализу тенденций климатических изменений также приводит к значительным тратам ресурсов и времени специалистов на получение данных из централизованных архивов и выполнение рутинных задач.

На сегодняшний день существует только одна система, созданная в Национальном аэрокосмическом агентстве США (NASA), которая направлена на организацию централизованного доступа к системе обработки данных, — GIOVANNI¹. Однако в ней используются только данные спутниковых наблюдений, а возможности анализа сводятся преимущественно к визуализации пространственно-временных распределений параметров, чего, конечно, недостаточно для комплексного исследования глобальных и региональных изменений климата.

С нашей точки зрения, для поддержки всего набора исследований, выполняемых при всестороннем изучении окружающей среды, необходимо создание соответствующей информационно-вычислительной инфраструктуры [2], существенным образом использующей возможности Интернета. Анализ, выполненный при разработке веб-портала для атмосферных наук ATMOS [3], показал, что наиболее перспективен подход, предложенный Де Руром [4], в рамках которого каждое отдельное задание (например, усвоение/анализ или моделирование) представляется информационной системой, имеющей три уровня (данные, информация и знание). Такой подход позволяет на основе Интернет-технологий строить информационные системы для выбранной тематической области как элементы создаваемой инфраструктуры. Организация обмена данными и знанием между системами и должна приводить к созданию информационно-вычислительной инфраструктуры, необходимой для проведения междисциплинарных исследований окружающей среды.

В настоящей статье описаны первые элементы создаваемой веб-системы, направленные на обработку и визуализацию климатических и метеорологических данных и оценку качества воздуха в городе (на примере г. Томска). В ходе работы собраны данные разного происхождения из различных источников, проведены их систематизация, преобразование к унифицированному формату и организация в виде некоторой структуры, хранящейся на носителях большого объема мощной вычислительной платформы. В дальнейшем была разработана онлайн-информационная система, которая имеет набор стандартных программных инструментов для обработки и визуализации собранных данных, и организован Интернет-доступ к ней. Эта информационная си-

¹<http://daac.gsfc.nasa.gov/techlab/giovanni/>

стема предоставляет возможность не только для визуализации архивных данных, но и для исследования тенденций изменения глобальных и региональных характеристик окружающей среды и климата в результате природных и антропогенных процессов.

1. Система для обработки и визуализации климатических и метеорологических данных

Web-система состоит из трех частей: графического интерфейса пользователя, набора программ, написанных на языке сценариев системы GrADS (Grid Analysis and Display System)² или IDL (Interactive Data Language)³, и структурированных метеорологических данных. Графический интерфейс разработан на базе ядра веб-портала ATMOS с использованием языков HTML, PHP и Java [5] и представляет собой динамическую форму для ввода параметров расчета и визуализации (рис. 1). Программы представляют собой независимые модули, подключаемые с помощью PHP и выполняемые системой GrADS/IDL, которая по окончании расчетов производит графический вывод результатов в файл. Этот файл в дальнейшем передается в ядро системы для отображения на веб-странице. Метеоданные в структурированном виде хранятся на жестком диске сервера и доступны только для обработки системой. Пользователь не имеет непосредственного доступа к данным и не может скачать их, однако свободно может получить результаты графического отображения как данных, так и результатов их обработки.

Atmosphere temperature	
Characteristic	Average for month
Given range, degrees, C	0 ° - 18 °
Area average mode	Average for all grid points
Region	User defined
Longitudinal range	° - °
Latitudinal range	° - °
Altitude level / Time grid	Surface Daily
Averaging window width	Week
Choose the month and years range	
Date range	1950 January 01 1950 January 01

Рис. 1. Окно ввода параметров расчета и визуализации для температуры атмосферы

²<http://www.iges.org/grads/>

³<http://www.ittvis.com/idl/>

На данный момент система успешно работает с данными Reanalysis NCEP/NCAR⁴ и Reanalysis 2 NCEP/DOE AMIP II⁵. Эти наборы данных содержат множество метеорологических параметров, полученных как на основе наблюдений, так и по результатам моделирования для всей Земли в период с 1950 по 2002 г. Из них выбрано несколько ключевых параметров, характеризующих общее состояние климата или основные тенденции в его изменениях (температура, давление, влажность атмосферы, температура и влажность почвы, а также уровень осадков и геопотенциальная высота). Благодаря ядру веб-портала ATMOS гибкая структура системы обеспечивает простое и быстрое расширение возможностей как интерфейса пользователя, так и внутреннего программного обеспечения.

Система обладает следующей функциональностью:

- выполнение различных математических и статистических операций над данными реанализов;
- вычисление минимальных, максимальных и средних величин;
- определение дисперсии, стандартного отклонения и абсолютного диапазона значений;
- подсчет числа дней с абсолютными значениями параметра, лежащими в заданном диапазоне;
- сглаживание во времени значений параметра скользящим осредняющим окном в заданный период времени для произвольных пространственных и временных диапазонов;
- вычисление коэффициента корреляции для произвольной пары параметров;
- расчет коэффициентов линейной регрессии между средней годовой температурой Северного полушария и средней температурой выбранного временного интервала;
- определение первого (последнего) теплого (холодного) дня (недели, месяца) года.

Пользовательский интерфейс дает возможность задавать географическую область, временной диапазон, выбирать исследуемую климатическую характеристику, а также задавать параметры визуализации. Например, в выпадающем меню “Регион” можно выбрать: Сибирь, Европа, Азия, Евразия, вся Земля и пользовательские установки. Выбор последнего варианта приводит к появлению полей “Долготный диапазон” и “Широтный диапазон”, в которых пользователь должен задать координаты интересующей его географической области. Также пользователь может выбрать интересующую статистическую характеристику, интервал осреднения, высотный уровень и т. д. При расчете скользящего среднего, если выбрать ширину осредняющего окна (неделя, месяц, три месяца, полгода и год), в качестве результата получается последовательность изображений с пространственным распределением исследуемой климатической характеристики. Этот набор представляется в виде анимации, которую можно просматривать как в автоматическом, так и в ручном режиме. На рис. 2 показано несколько изображений из такой последовательности, включая органы управления воспроизведением.

В качестве примера использования разрабатываемой веб-системы приведем полученные с ее помощью результаты исследования динамики некоторых региональных климатических характеристик Сибири [6]. Следует отметить, что эти результаты главным образом характеризуют наборы данных проектов Reanalysis и Reanalysis 2, не совсем адекватно отражающих реальную ситуацию из-за недостаточной развитости сети

⁴<http://www.cdc.noaa.gov/cdc/reanalysis/reanalysis.shtml>

⁵<http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data.ncep.reanalysis2.html>

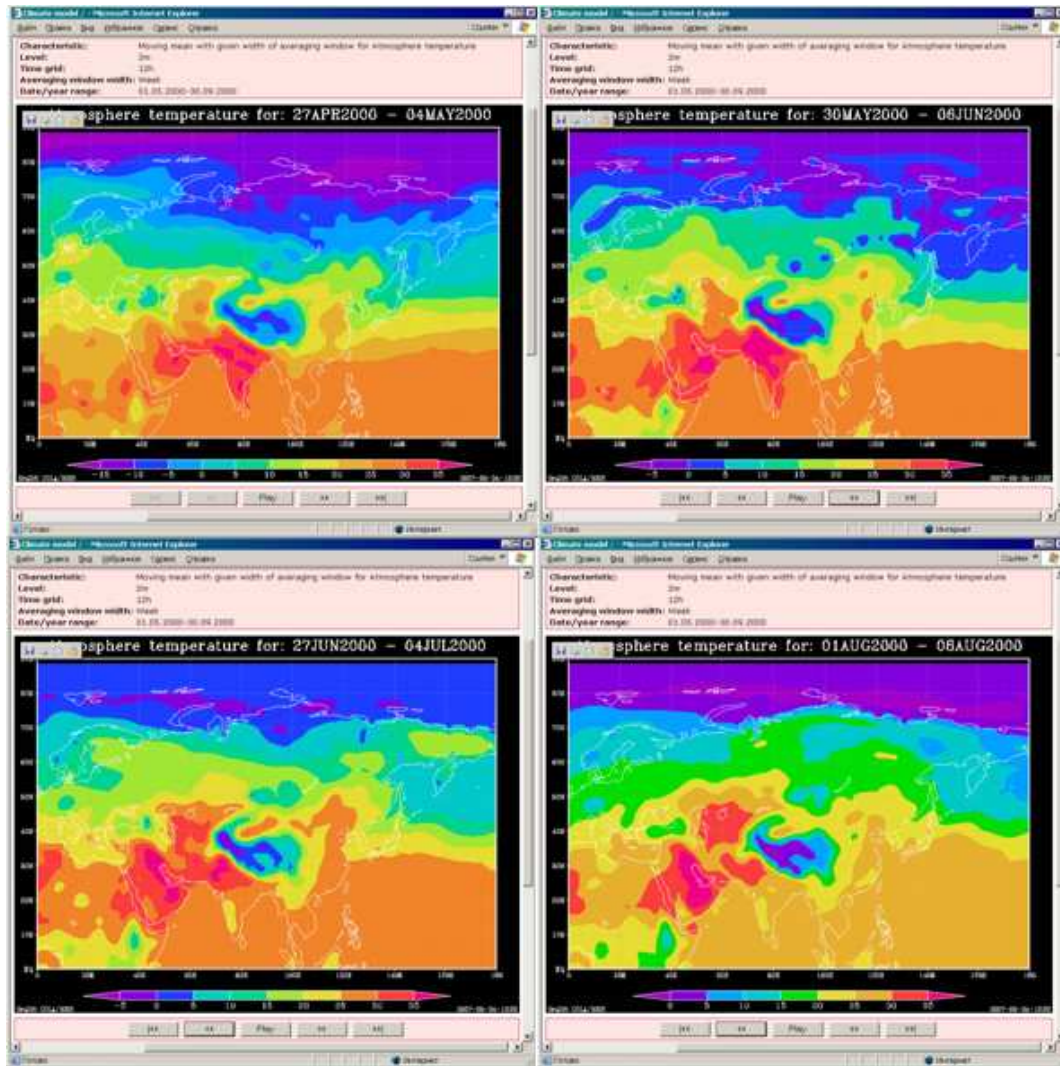


Рис. 2. Результаты осреднения скользящим окном

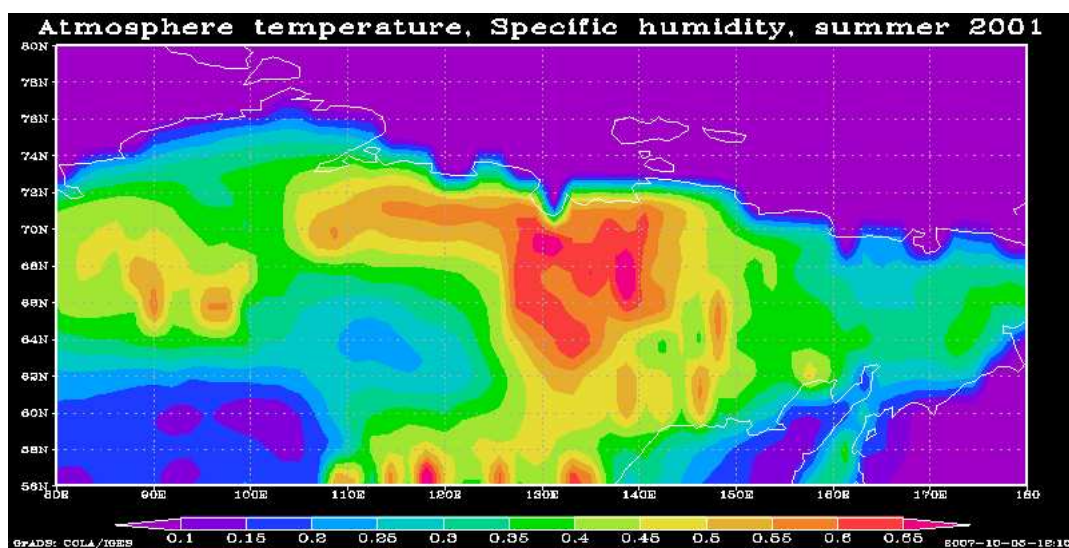


Рис. 3. Поверхность коэффициента корреляции между удельной влажностью и температурой на высоте 2 м над северной Евразией, лето, 2001 г.

станций метеонаблюдений в регионе. Поскольку формирование атмосферных процессов имеет многофакторную природу, наиболее надежными для количественной оценки динамики климатических характеристик являются статистические методы и в дальнейшем предполагается их использование.

Выявление климатических изменений в Западно-Сибирском регионе основывалось на результатах статистического анализа данных по температурному режиму на высоте 2 м и по количеству выпавших осадков. Применялись методы параметрической и непараметрической статистики. Для проведения такого анализа были использованы следующие функциональные блоки веб-системы: определение первого и последнего теплого (холодного) дня, недели и месяца в году (динамика длительности теплого сезона); определение числа дней со среднесуточным количеством осадков из заданного интервала значений (динамика количества осадков); определение числа дней со среднесуточной температурой из заданного интервала (динамика потепления); вычисление коэффициентов корреляции для различных пар метеорологических параметров (степень их линейной зависимости, рис. 3).

Выполненный анализ показывает, что наблюдаются слабое уменьшение числа дней с количеством осадков, превышающим среднее многолетнее значение, в теплое время года и увеличение в холодное время года. Тем не менее однородность данных по осадкам, осредненных за различные временные промежутки, позволяет сделать предположение о несущественности изменения количества осадков за последние 50 лет.

Анализ динамики температур в отдельно взятые дни показал незначимость ее изменения, но средние температуры за более длительные интервалы (неделя, две недели, месяц) для каждого сезона являются неоднородными. Таким образом, согласно данным NCEP/NCAR Reanalysis и NCEP/DOE Reanalysis AMIP II, в Западной Сибири наблюдается значимое увеличение средних температур весной и летом. В зимний период поведение средних температур неоднозначно: выявлена тенденция понижения температур, осредненных за неделю, и повышения температур, осредненных за две недели и за месяц.

2. Система оценки качества воздуха г. Томска

Данный компонент разрабатываемой информационно-вычислительной инфраструктуры предназначен для оперативной оценки и прогноза химического состава воздуха в городском индустриальном центре и его пригородах на основе метеорологических наблюдений, адекватного учета выбросов промышленных предприятий в атмосферу, измерений концентраций загрязняющих атмосферу газов, а также численного моделирования процессов трансформации и переноса газовых примесей. В модели [7], применяемой для расчета распределения концентраций загрязнений над городской территорией, учитываются перенос, рассеяние и сухое осаждение легких газовых компонентов примеси, а также химические и фотохимические взаимодействия между загрязнителями.

Рассматриваемая веб-система также базируется на программном обеспечении портала ATMOS. На данный момент в системе реализован блок оценки загрязнения воздуха за выборочные периоды с 2000 по 2005 г., для которых с использованием полей метеорологических параметров, вычисленных с помощью метеорологических моделей прогноза, получены детальные поля концентраций загрязнителей.

Web-система состоит из трех функциональных частей.

1. Данные, полученные в результате работы модели [7] для г. Томска за выборочные периоды с 2000 по 2005 г. и приведенные с помощью специально разработанного Java-конвертера к стандартному бинарному формату, используемому программным пакетом GrADS.

2. Графический интерфейс пользователя.

3. Набор PHP-сценариев, реализующих обработку данных, а также их представление в GrADS-формате для последующей визуализации.

В настоящее время она позволяет зарегистрированному пользователю проводить оценку таких параметров, как средние загрязнения за месяц и за сезон, их динамика по годам, а также суточная динамика для различных примесей. Данные хранятся на сервере и доступны только для обработки системой. Пользователь может свободно получить результаты графического отображения как данных, так и результатов их обработки. Для визуализации результатов также использовался программный пакет с открытым кодом GrADS. Графический интерфейс пользователя разработан с использованием языков HTML, PHP и JavaScript и представляет собой динамическую HTML-форму для ввода параметров расчета и визуализации (рис. 4).

Форма позволяет задавать для системы ряд параметров. Так, выпадающий список “Воздушная примесь” предоставляет возможность выбора воздушных примесей из следующего набора: крупнодисперсный аэрозоль, диоксид серы, диоксид азота, оксид углерода, мелкодисперсные частицы, оксид азота, озон. Параметр “Высота атмосферного слоя” позволяет задавать рассматриваемый высотный уровень, который для существующего набора данных может варьироваться от 10 до 180 м. В списке “Вычисляемая характеристика” необходимо выбрать одну из процедур обработки и визуализации данных атмосферного загрязнения: среднее загрязнение за месяц, среднее загрязнение за сезон,

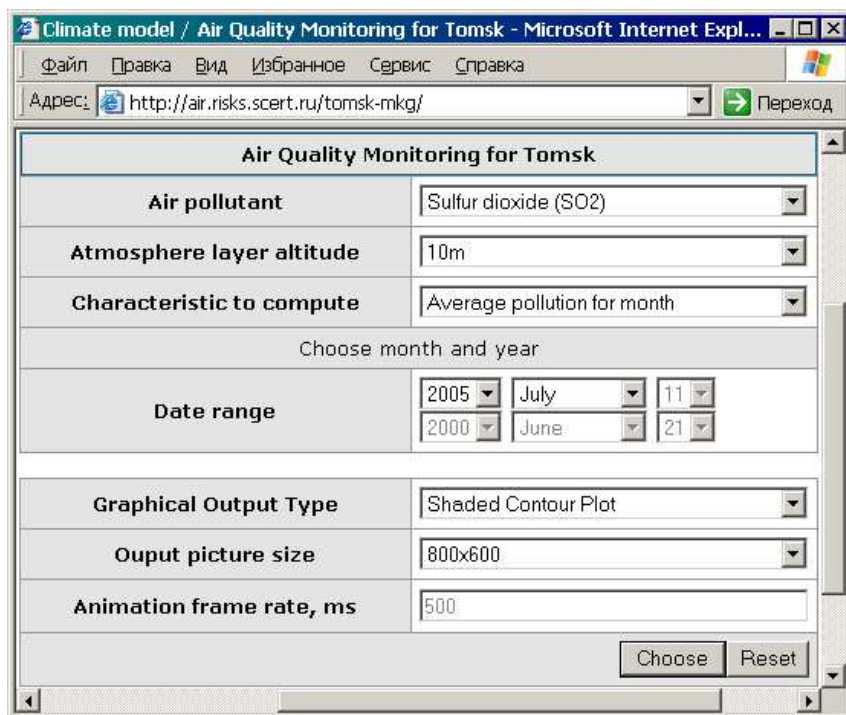


Рис. 4. Графический интерфейс пользователя системы оценки качества воздуха

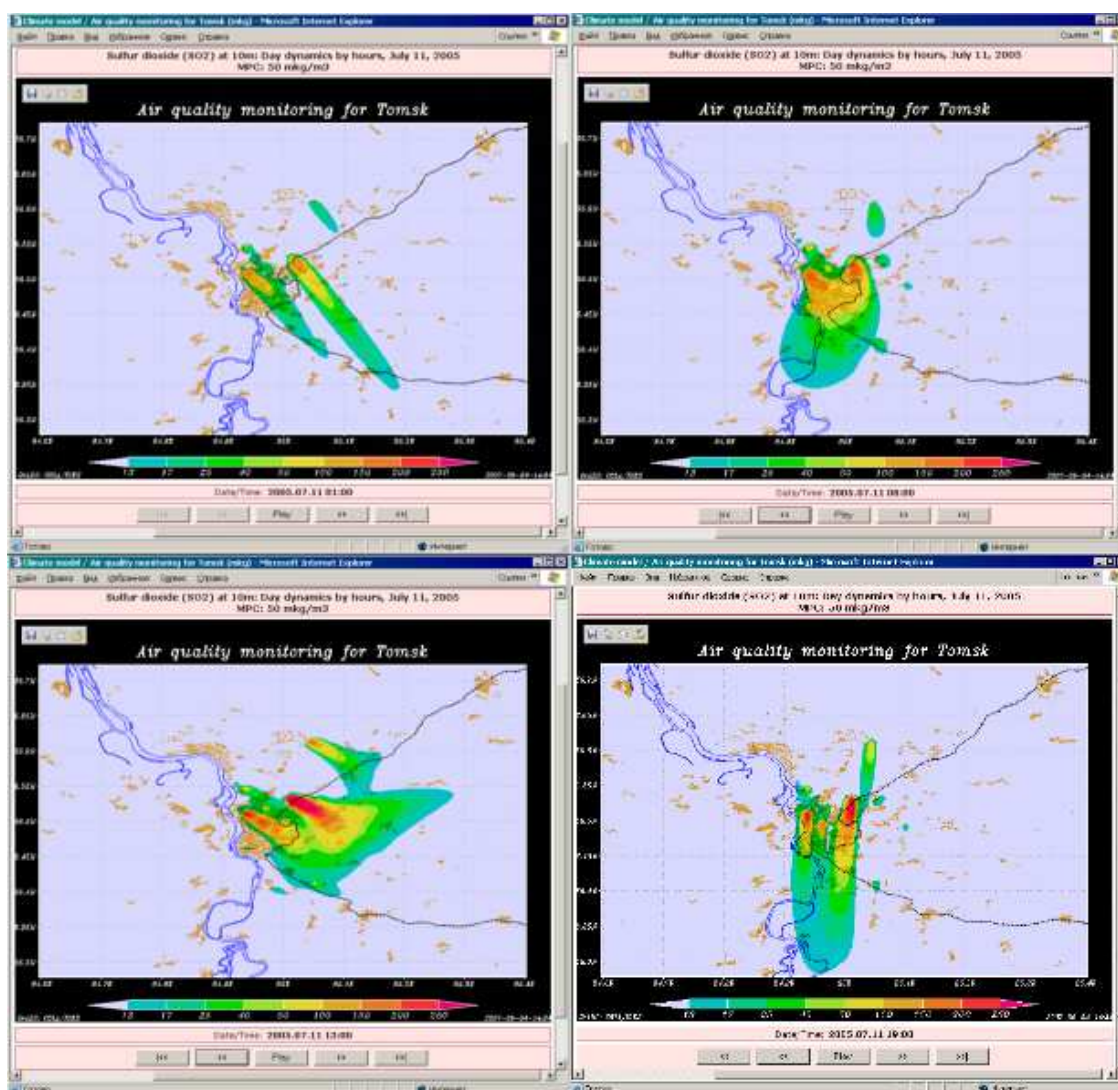


Рис. 5. Динамика концентрации диоксида серы за 11 июля 2005 г.

суточную динамику концентрации загрязнителя по часам, динамику средних за месяц по годам и динамику средних за сезон по годам. Также имеется возможность задать временной диапазон для анализа, вид графического вывода, размер выходного изображения, а также частоту кадров анимации. На рис. 5 показана почасовая динамика концентрации диоксида серы за 11 июля 2005 г.

Система предназначена для использования городскими экологами и работниками муниципальных служб, она предоставляет им возможность визуализировать поля концентраций загрязнителей на различных высотных уровнях атмосферного приграничного слоя в условиях городской застройки. Она может быть применена для выявления областей сильного загрязнения воздуха над территорией и их динамики в зависимости от метеоусловий, для оценки вклада конкретных источников загрязнения, а также для изучения степени антропогенного влияния на изменение природной среды и климата в регионе. Следует отметить, что при наличии данных об источниках промышленного и транспортного загрязнения, значений метеорологических характеристик и свойств подстилающей поверхности система может быть достаточно быстро адаптирована для применения в условиях других промышленных центров.

Заключение

Разработанные системы являются частью создаваемого комплекса программ для обработки и визуализации данных об окружающей среде для исследовательских нужд. Они будут использованы при создании распределенной информационно-вычислительной инфраструктуры, поддерживающей интегрированное исследование состояния и динамики окружающей среды Сибири и ее взаимосвязей с современными глобальными процессами [8, 9]. Несмотря на то что в разрабатываемом программном комплексе пока работают лишь два элемента, ясно, что благодаря большому набору предоставляемых для исследования данных и своим функциональным возможностям он найдет широкое применение при изучении региональных природно-климатических процессов. Доступность системы в сети Интернет и возможность работы с данными без использования специальных знаний в программировании должны позволить широкому кругу ученых сконцентрироваться на решении конкретных задач, а также обеспечить гарантии достоверности получаемых результатов.

Список литературы

- [1] ГОРДОВ Е.П. Современные тенденции в региональных исследованиях окружающей среды // География и природные ресурсы. 2004. Спецвыпуск. С. 11–19.
- [2] ГОРДОВ Е.П., ЛЫКОСОВ В.Н. Развитие информационно-вычислительной инфраструктуры для интегрированного регионального исследования окружающей среды Сибири // Вычисл. технологии. 2007. Т. 12. Спецвыпуск. С. 19–30.
- [3] GORDOV E.P., LYKOSOV V.N., FAZLIEV A.Z. Web-portal on environmental sciences “ATMOS” // Adv. Geosci. 2006. Vol. 8. P. 33–38. (www.adv-geosci.net/8/33/2006/).
- [4] DE ROURE D., JENNINGS N., SHADBOLT N. A Future e-Science Infrastructure. Report Commissioned for EPSRC/DTI Core e-Science Programme, 2001. 78 p.
- [5] Окладников И.Г., Титов А.Г. Веб-система для обработки и визуализации метеорологических данных // Измерения, моделирование и информационные системы для изучения окружающей среды / Под общей ред. проф. Е.П. Гордова. Томск: Изд-во Томского ЦНТИ, 2006. С. 42–44.
- [6] MELNIKOVA V.N., SHULGINA T.M., TITOV A.G. Statistical analysis of meteorological data of NCEP/NCAR Reanalysis 1 and Reanalysis 2 for West Siberia // Program and Abstract of Intern. Conf. CITES-2007. Tomsk: Publ. House of Tomsk CSTI, 2007. P. 21.
- [7] БЕЛИКОВ Д.А., СТАРЧЕНКО А.В. Исследование образования вторичных загрязнителей (озона) в атмосфере г. Томска // Оптика атмосферы и океана. 2005. Т. 18, № 05-06. С. 435–443.
- [8] GORDOV E.P., BEGNI G. Siberia integrated regional study development // Вычисл. технологии. 2005. Т. 10. Спецвыпуск. Ч. 2. С. 149–154.
- [9] GORDOV E.P., BEGNI G., HEIMAN M. ET AL. Siberia integrated regional study as a basis for international scientific cooperation // Вычисл. технологии. 2006. Т. 11. Спецвыпуск. Ч. 1. С. 16–28.

Поступила в редакцию 21 ноября 2007 г.