

ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ТРЕХСЛОЙНОЙ АРХИТЕКТУРЫ ДЛЯ КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА КАЧЕСТВА ВОЗДУХА

А.А. Барт, А.В. Старченко, А.З. Фазлиев

Введение. Проблема загрязнения атмосферного воздуха урбанизированных территорий является одной из актуальных проблем экологии. Основной вклад в загрязнение атмосферного воздуха вносит автотранспорт, крупные промышленные объекты, а также природные источники. Решение проблемы возможно лишь после тщательного изучения атмосферных процессов (поступления, распространения, образования новых (вторичных) и стока загрязнителей) и выработки стратегии действий на основе полученной информации. В настоящее время преобладающим методом контроля за химическим составом воздуха является мониторинг газового состава атмосферного воздуха. В сети станций наблюдения при помощи газоанализаторов собирается информация о содержании в воздухе наиболее опасных газов. Полученная при измерениях информация представлена в сети Internet на страницах информационных сайтов. Информационные системы служат для обеспечения пользователей информацией о содержании газов в атмосферном воздухе. Примерами таких систем, демонстрирующими результаты измерений концентраций примесей в атмосфере, являются веб-сайты ГПУ «Мосэкомониторинг» [1] и лаборатории климатологии атмосферного состава ИОА СО РАН [2].

За последнее десятилетие математическое моделирование атмосферных процессов стимулировалось тремя процессами. Во-первых, были выполнены многочисленные исследования по сбору и обработке данных об источниках антропогенной и природной эмиссии, в том числе и на региональном уровне. Во-вторых, существенно увеличилась вычислительная мощность серверов и компьютерных кластеров. В-третьих, появились новые эффективные численные методы. Это создало предпосылки для вычислений региональных прогнозов качества воздуха.

Появление в сети Интернет социальных информационных систем заставило пользователей повышать образование в сфере информационных технологий, что, в свою очередь, привело к росту интереса к прогностической компоненте научных информационных ресурсов. На современном этапе развития информационных технологий информационные ресурсы и системы создаются в рамках технологий Semantic Web [3]. Информационно-вычислительная система (ИВС) UniQuE строилась для информационного обеспечения фотохимической модели переноса примеси [4, 5], разработанной в Томском государственном университете для проведения исследований, направленных на изучение тенденций загрязнения атмосферного воздуха над территориями города Томска и окрестностей, а также предоставление прогноза качества атмосферного воздуха на ближайшие сутки. Использование современных информационных технологий, в первую очередь, Semantic Web, позволило создать трехслойную ИВС. При построении информационного слоя и слоя знаний ИВС используется язык спецификации онтологий OWL [6]. Трехслойная ИВС [7] ориентирована на работу с исследователями и программными агентами.

Информационный сайт ИВС UniQuE, служит для отображения метеорологического прогноза по глобальной модели ПЛАВ и результатов ежедневного моделирования качества атмосферного воздуха для исследуемой области. В разделе «Прогноз качества воздуха» информационного сайта представлен прогноз, рассчитанный по модели переноса примеси. Прогноз выводится в виде комплексного показателя – индекса загрязнения атмосферы над рассматриваемой территорией. Индекс загрязнения атмосферы (ИЗА) – комплексный показатель степени загрязнения атмосферы, рассчитываемый в соответствии с методикой, предложенной в [8], как сумма средних концентраций в единицах ПДК с учетом класса опасности соответствующего загрязняющего вещества.

В работе представлены математические модели, использованные в качестве основы для создания вычислительных приложений в ИВС UniQuE, дано детальное описание входных и выходных данных для приложений и описана трехслойная архитектура ИВС.

Физическая постановка задачи

Предметной областью исследования является нижняя часть тропосферы и подстилающая поверхность, представляющая собой параллелепипед, в центре основания которого расположена урбанизированная территория с населением в несколько сот тысяч человек. Помимо городской застройки на этой территории расположены гидрологические и природные объекты.

В нижней части тропосферы протекают метеорологические процессы, такие как турбулентное движение воздушных потоков, влаго- и теплообмен, а также перенос, рассеяние, осаждение компонент примеси и химическое взаимодействия между компонентами примеси (молекулы газов, аэрозоли), поступающие в воздух из источников, причем каждый источник характеризуется объемом и составом загрязняющих воздух компонент и скоростью выброса этих компонент в атмосферу.

Математическая постановка задачи

Модель атмосферного пограничного слоя. В разработанной информационно-вычислительной системе прогноза химической погоды в городе в настоящее время используется одномерная нестационарная математическая модель атмосферного пограничного слоя (АПС), которая позволяет подробно рассчитывать вертикальную структуру нижней тропосферы и ее турбулентные характеристики. Математическая модель АПС представляет собой следующую систему дифференциальных уравнений:

$$\frac{\partial U}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial z} \langle uw \rangle + f \cdot (V - V_g) + \frac{U_S - U}{\tau_S}; \quad (1)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial z} \langle vw \rangle - f \cdot (U - U_g) + \frac{V_S - V}{\tau_S}; \quad (2)$$

$$\frac{\partial \Theta}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial z} \langle \theta w \rangle + \frac{\Theta_S - \Theta}{\tau_S}; \quad (3)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial z} \langle qw \rangle + \frac{Q_S - Q}{\tau_S}; \quad (4)$$

здесь U, V – горизонтальные компоненты средней скорости ветра (вертикальную составляющую считаем пренебрежимо малой W), u, v, w – пульсационные составляющие горизонтальных и вертикальной компонент скорости соответственно, Θ, θ – средняя и пульсационная составляющие потенциальной температуры воздуха, Q, q – средняя и пульсационная составляющие абсолютной влажности воздуха, t – время, z – вертикальная координата, $(U_g, V_g) = 1/\rho f (-\partial p/\partial y, \partial p/\partial x)$ – компоненты скорости геострофического ветра, $f = 2\Omega \sin \varphi$ – параметр Кориолиса, φ – географическая широта рассматриваемой области, Ω – угловая скорость вращения Земли, $\langle uw \rangle, \langle vw \rangle, \langle w\theta \rangle, \langle wq \rangle$ – турбулентные корреляции пульсаций вертикальной составляющей скорости с пульсациями горизонтальных компонент скорости, температуры и влажности соответственно. С индексом «S» обозначены метеорологические поля синоптического масштаба, получаемые на основе результатов прогностических расчетов по глобальной модели модели ПЛАВ. τ_S – период времени (частота) обновления результатов численного прогноза.

Для замыкания системы уравнений (1)-(4) применяется трехпараметрическая модель турбулентности, включающая уравнения переноса для энергии k , масштаба турбулентных пульсаций l и уравнение для дисперсии турбулентных пульсаций потенциальной температуры $\langle \theta^2 \rangle$:

$$\frac{\partial k}{\partial t} = -\langle uw \rangle \frac{\partial U}{\partial z} - \langle vw \rangle \frac{\partial V}{\partial z} + \frac{g}{\Theta} \langle w\theta \rangle + \frac{\partial}{\partial z} \left(\sigma_e \sqrt{k} l \frac{\partial k}{\partial z} \right) - \frac{C_D k^{\frac{3}{2}}}{l}; \quad (5)$$

$$\frac{\partial l}{\partial t} = C_{l1} \left(-\langle uw \rangle \frac{\partial U}{\partial z} - \langle vw \rangle \frac{\partial V}{\partial z} + \frac{g}{\Theta} \langle w\theta \rangle \right) \frac{l}{k} + \frac{\partial}{\partial z} \left(\sigma_e \sqrt{k} l \frac{\partial l}{\partial z} \right) + C_{l2} \sqrt{k} \left[1 - \left(\frac{l}{\kappa z} \right)^2 \right]; \quad (6)$$

$$\frac{\partial \langle \theta^2 \rangle}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(C_\theta \sqrt{k} l \frac{\partial \langle \theta^2 \rangle}{\partial z} \right) - 2 \langle w\theta \rangle \frac{\partial \Theta}{\partial z} - 2 \frac{\langle \theta^2 \rangle}{\tau_\theta}. \quad (7)$$

Здесь $k = 0,5 (\langle u^2 \rangle + \langle v^2 \rangle + \langle w^2 \rangle)$ – кинетическая энергия турбулентности; l – интегральный масштаб турбулентности; $\sigma_e = 0,54, C_{l1} = -0,12, C_{l2} = 0,2, C_D = 0,19, C_\theta = 1,3, \alpha_\theta = 0,1$ – числовые коэффициенты; $\kappa = 0,41$ – константа фон Кармана; $\tau = l/C_D \sqrt{k}$ – временной масштаб турбулентных пульсаций. Турбулентные потоки импульса $\langle uw \rangle, \langle vw \rangle$, тепла $\langle w\theta \rangle$ и влаги $\langle wq \rangle$ определяются при помощи алгебраических соотношений [9].

Модель переноса примеси. Для расчета концентрации компонентов примеси с учетом химических реакций применяется эйлерова модель турбулентной диффузии, включающая транспортные уравнения с описанием адвекции, турбулентной диффузии, химических реакций, поступления примеси от источников и влажное осаждение примеси:

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} + \frac{\partial UC_i}{\partial x} + \frac{\partial VC_i}{\partial y} + \frac{\partial WC_i}{\partial z} = -\frac{\partial}{\partial x} \langle c_i u \rangle - \frac{\partial}{\partial y} \langle c_i v \rangle - \frac{\partial}{\partial z} \langle c_i w \rangle - \sigma_i C_i + S_i + F_i, \quad i=1, \dots, n_s. \quad (8)$$

Здесь C_i , c_i – осредненная и пульсационная составляющие концентрации i -ой компоненты примеси; U , V , u , v – осредненные и пульсационные составляющие вектора горизонтальной скорости ветра; W , w – осредненная и пульсационная составляющие вертикальной компоненты скорости примеси; $\langle \rangle$ – осреднение по Рейнольдсу; S_i – источниковый член, представляющий выбросы компонентов примеси в атмосферу; F_i описывает образование и трансформацию вещества за счет химических и фотохимических реакций с участием компонентов примеси; σ_i – скорость влажного осаждения примеси за счет осадков; n_s – количество химических компонентов примеси, концентрации которых необходимо определить; x , y – горизонтальные координаты, ось Ox направлена на восток, Oy – на север; z – вертикальная координата; t – время; $0 \leq t \leq T$, $-Lx/2 \leq x \leq Lx/2$, $-Ly/2 \leq y \leq Ly/2$, $0 \leq z \leq h$, T – время моделирования, Lx , Ly – горизонтальные размеры области, h – высота расчетной области.

Используемые в расчетах газофазные реакции. Для достоверного прогноза загрязнения воздуха, необходимо учитывать химические и фотохимические реакции, происходящие в атмосфере между продуктами первичной эмиссии (антропогенные выбросы промышленных предприятий и транспорта) и компонентами воздуха, которые приводят к образованию новых соединений, многие из которых могут причинить вред здоровью человека при концентрациях, превышающих предельно допустимые (озон, формальдегид). С этой целью в систему уравнений переноса примеси (8) добавлен член, описывающий изменение концентрации компоненты примеси. При расчете F_i используется фотохимическая модель, построенная в Датском метеорологическом институте для исследования и прогноза качества атмосферного воздуха. Эта модель была разработана в [10, 11] и модифицирована А. Zakey (DMI) для учета образования паров серной кислоты из диоксида серы. В ней учитываются 20 химических реакций между следующими компонентами: NO_2 , NO , $\text{O}(^1\text{D})$, $\text{O}(^3\text{P})$, O_3 , HO , H_2O_2 , HO_2 , CO , SO_2 , HC , HCHO , RO_2 , O_2 , N_2 , H_2O , где $\text{R}=\text{C}_x\text{H}_y$. В силу малого влияния рассматриваемых химических реакций на значения концентрации трех последних соединений они принимаются постоянными.

Трёхслойная архитектура информационной системы

В рамках подхода Semantic Web (SW) контент информационных ресурсов включает в себя данные, информацию и знания. Эти термины в литературе трактуются достаточно широко, но если следовать складывающейся терминологии SW, то необходимо использовать вместо них термины «данные», «связанные данные» и «онтологии». В SW интерпретация терминов «данные», «связанные данные» и «онтологии» тесно связана с семантикой формальных языков (XML, RDF и OWL). Более того, такой интерпретацией обусловлено использование терминов «слой данных и приложений», «информационный слой» и «слой знаний», введенных в e-Science [12] для описания инфраструктуры информационных ресурсов и информационных систем.

Для работы в слое данных ИВС UnIQUE от пользователя требуется знание естественного языка и понимание основных терминов, используемых при описании атмосферного пограничного слоя, переноса примесей и газофазных реакций. Фактами, относящимися к слою данных, являются факты, связанные со значениями физических величин (температура, влажность, турбулентная диффузия, и т.д.), которые представляют решения прямых задач. Факты появляются в ИС при решении задач атмосферного пограничного слоя. В слое данных пользователь может выбирать, просматривать и сравнивать значения физических величин, относящиеся к сечениям пограничного слоя.

Информационный слой ИВС UnIQUE содержит описание свойств решений задачи прогноза качества воздуха, аккумулированных в слое данных, и представляемых в форме субъектно-предикатных структур [13]. Целью создания такого слоя является формирования индивидов, характеризующих свойства решений задачи краткосрочного прогноза качества воздуха, составляющих часть онтологической базы знаний, необходимой для принятия решений.

Основным ресурсом слоя знаний являются онтологии информационных ресурсов. Они ориентированы на использование в рамках агентных технологий, прежде всего в тех случаях, когда возникают ситуации, требующие автоматического принятия решения при выборе одного ресурса из нескольких ему подобных. Для кодирования онтологий используется язык OWL DL. Основным назначением слоя знаний в представляемой ИВС является систематизация свойств решений задач краткосрочного прогноза качества воздуха, в частности, предоставление пользователю возможности семантического поиска достоверного прогноза качества воздуха с высокой степенью доверия к нему.

Трёхслойная архитектура ИВС UnIQUE представлена на рис. 1.

Трехслойная архитектура ИВС UniQuE

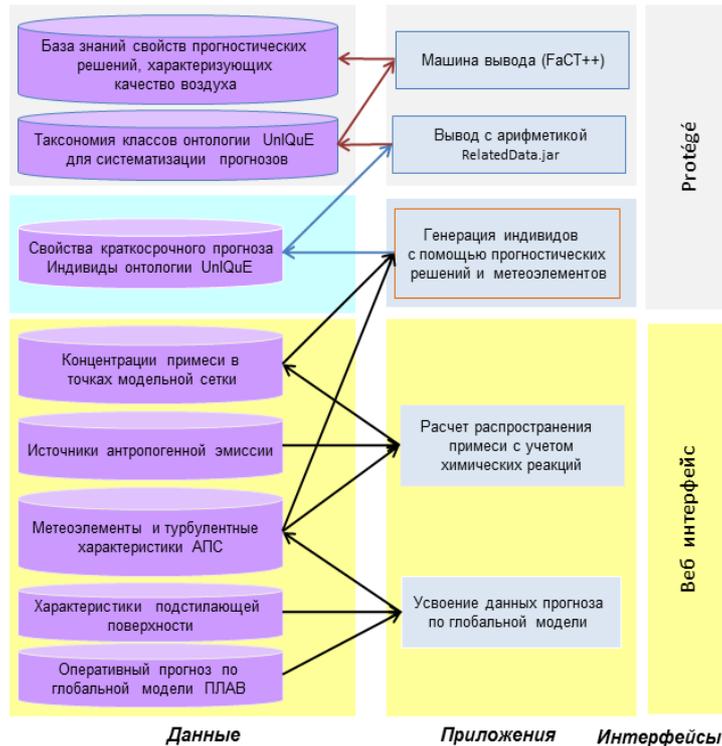


Рис.1. Трехслойная архитектура ИВС UniQuE.Слой данных и приложений

Слой данных и приложений содержит входные и выходные данные и приложения, обеспечивающие вычисления краткосрочного прогноза над урбанизированной территорией.

Для проведения моделирования используются следующие наборы данных:

- *Оперативный прогноз по глобальной модели ПЛАВ.* Данные оперативного прогноза по глобальной полулагранжевой модели ПЛАВ ГУ Гидрометцентр России [14] в виде файлов в формате grib [15] на географической сетке: от 49,68° до 63,36° северной широты с шагом 0,72° и от 80,1° до 97,2° восточной долготы с шагом 0,9°. Вертикальная сетка неравномерная, сгущается к поверхности и соответствует следующим уровням давления 1000, 925, 850, 700, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100, 70, 50, 30, 20, 10 мбар. В файлах содержится информация о следующих метеорологических характеристиках: температура воздуха, относительная влажность, северная и восточная компоненты вектора ветра, давление на поверхности, аккумулярованные за 6 часов осадки, давление на уровне моря, влажность и температура почвы, высота геопотенциала.
- *Источники антропогенной эмиссии.* Данные о выбросах от площадных и точечных источников с указанием месторасположения, и интенсивности поступления выбросов в атмосферу, а также расход выбросов 17-ти различных веществ (мг/с): пыль, угарный газ (CO), диоксид серы (SO₂), диоксид азота (NO₂), монооксид азота (NO), аммиак (NH₃), формальдегид (H₂CO), фенол (C₆H₅OH), углеводороды, бензол (C₆H₆), сажа, хлороводород (HCl), сероводород (H₂S), толуол (C₆H₅CH₃), этиленбензол (C₆H₅CH₂CH₃), ксилол (C₆H₄(CH₃)₂), метил (CH₃). Для выбросов от автотранспорта учитывается суточная изменчивость интенсивности трафика.
- *Характеристики подстилающей поверхности.* Данные о рельефе и категориях землепользования (24 категории USGS) с пространственным разрешением 30''(секунд) для области моделирования. Процесс вычисления разбивается на этапы и реализован с помощью приложений:
- *Приложение усвоения данных прогноза по глобальной модели.* Приложение на основе глобального метеорологического прогноза, данных о рельефе и категорий землепользования, используя одномерную модель однородного атмосферного пограничного слоя проводит усвоение данных, вычисляя метеорологические характеристики для более подробной вертикальной сетки и меньшим шагом по времени.
- *Приложение для расчета распространения примеси с учетом химических реакций.* Приложение, на основе метеорологических условий и информации об источниках антропогенной эмиссии, расположенных внутри области моделирования дает численный прогноз концентрации примеси основных загрязнителей в ячейках модельной сетки.

- *Приложения генерации индивидов по результатам моделирования.* Приложение вычисляет для каждого уровня по вертикали максимальное и минимальное значения, а также объем, который занимают ячейки в которых содержатся минимальное, максимальное и превышающее предельно-допустимое максимальное разовое значения. Кроме того выбираются значения, соответствующие TOR-станции СО РАН для сравнения результатов моделирования с данными измерений. После завершения каждого этапа генерируются новые наборы данных:
- *Метеоэлементы и турбулентные характеристики пограничного слоя атмосферы.* Данные получают посредством усвоения глобального метеорологического прогноза и служат для задания метеорологических условий, соответствующих периоду моделирования.
- *Концентрация примеси в точках модельной сетки.* Рассчитанные концентрации основных загрязнителей атмосферы как озон, диоксид азота, угарный газ, формальдегид и др. на модельной сетке.
- *Свойства краткосрочного прогноза.* Для предоставления информации о загрязненности городского воздуха в owl-файле хранятся индивиды, характеризующие каждый слой по вертикали датой моделирования, указанием на сокращенный механизм химических реакций, который был использован при моделировании, максимальным и минимальным значениями, объемами, который занимают ячейки в которых содержатся минимальное, максимальное и превышающее предельно-допустимое максимальное разовое значения. Кроме того для определения степени доверия прогноза каждый индивид имеет значения концентрации, соответствующие точке, где расположена TOR-станция ИАО СО РАН, и данные измерений TOR-станции(при наличии этих данных).

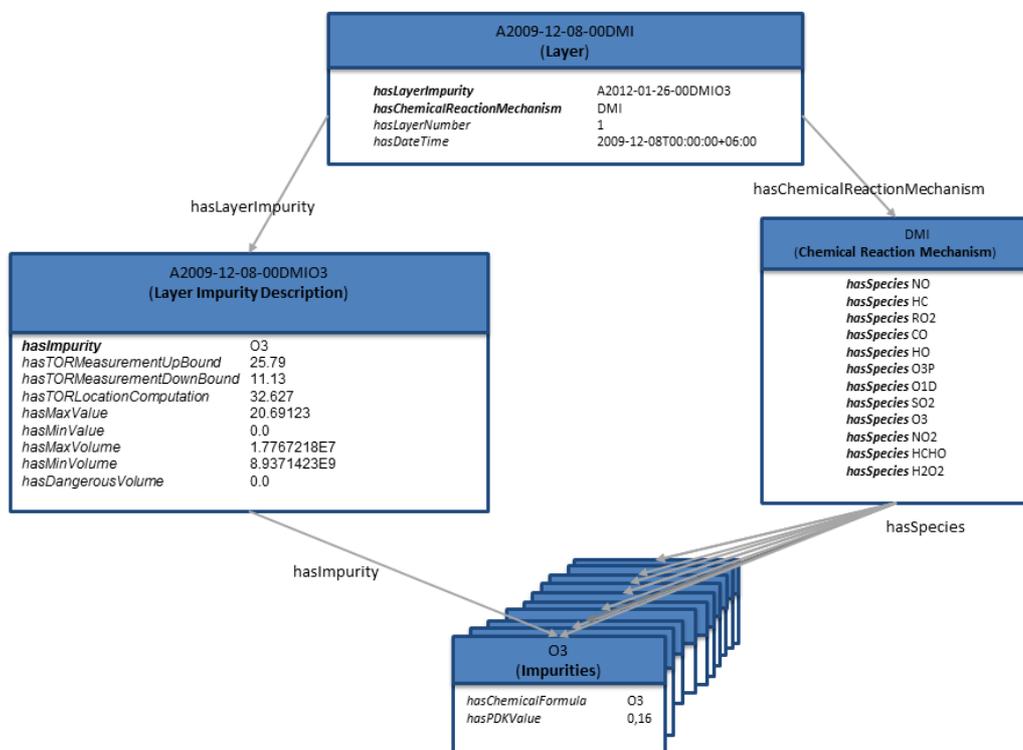


Рис.2. Субъектно-предикатная структура, характеризующая свойства краткосрочного прогноза качества воздуха

Информационный слой

Информационный слой в ИВС UnIQUE содержит факты, характеризующие свойства решений задач атмосферного пограничного слоя, переноса примесей и химии газофазных реакций, размещенных в слое данных. Его информационным ресурсом является фактологическая часть онтологии (A-box). Ключевым моментом в формировании фактологической части онтологии является создание индивидов. Индивиды представляют собой наборы фактов (высказываний), предназначенные для каталогизации информационных ресурсов, описывающих прогноз качества воздуха над Томском и его пригородами. Структура индивидов позволяет классифицировать их по набору свойств. В ИВС все свойства индивидов формируются автоматически после получения решения задачи прогноза качества воздуха приложениями (см. рис.1.). На рис.2 показана субъектно-предикатная структура соответствующая типовому индивиду.

Слой знаний

Слой знаний содержит онтологическую базу знаний, включающую таксономию классов (T-box) и набор фактов (A-box). Цель слоя знаний состоит в обеспечении реализации намерений исследователя при выборе одного из двух прогнозов, предоставляемых ИВС, другими словами созданная база знаний является основой для формирования экспертной системы и системы принятия решений. Созданные в информационном слое классы и свойства в слое знаний кодируются в соответствии с правилами языка спецификации онтологий OWL. Особенностью является использование в работе машины вывода арифметических операций. Примером, демонстрирующим эту технологию является формирование классов, содержащих индивиды, характеризующие расчетные данные, согласующиеся (ConsistentMeasured_and_ComputedData) и несогласующиеся (InconsistentMeasured_and_ComputedData) с данными измерений, проведенных на ТОР-станции ИОА СО РАН.

Заключение

В работе описана трехслойная архитектура ИВС UniQuE, предназначенной для предоставления краткосрочного прогноза качества воздуха над урбанизированной территорией. В основу системы положены математические модели атмосферного пограничного слоя, переноса примеси и кинетики примесей в газовой фазе. Входные и выходные данные, необходимые для вычислений, а также связанные с ними вычислительные приложения, образуют в такой архитектуре слой данных и приложений. Для создания этого слоя использованы типовые средства для организации хранения данных и создания вычислительных приложений. Для формирования информационного слоя и слоя знаний используется язык OWL, а приложения для формирования индивидов написаны на языке PHP на основе технологии DOM. Каждый из индивидов информационного слоя описывает набор свойств решения задачи прогноза качества воздуха в определенный момент времени, для выделенного слоя в нижней тропосфере, по одной из двух фотохимических моделей. Систематизация результатов прогноза осуществляется в слое знаний, а семантический поиск – на стороне пользователя с помощью Protege.

Доступ к ресурсам ИВС UniQuE может быть предоставлен только исследователям, участвующим в научных проектах. Такое ограничение обусловлено законодательством, регламентирующим предоставление информации о качестве воздуха. Другими словами, предоставление подобной информации является лицензируемой деятельностью. В настоящее время подобная деятельность не характерна для исследовательских университетов.

Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009-2013 (соглашение № 14.В37.21.0667) и гранта РФФИ № 12-01-00433а.

ЛИТЕРАТУРА:

1. ГПБУ «Мосэкомониторинг». [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.mosecom.ru/>
2. М.Ю. Аршинов, Б.Д. Белан, Д.К. Давыдов, В.К. Ковалевский, А.П. Плотников, Е.В. Покровский, Т.К. Скляднева, Г.Н. Толмачев Автоматический пост для мониторинга малых газовых составляющих воздуха, Метеорол. и гидрол., 1999, №3, С.110-118. Лаборатория климатологии атмосферного состава. URL: <http://lor.iao.ru/>
3. Handbook of Semantic Web Technologies, John Domingue, Dieter Fensel, James A. Hendler, (Eds.), 1st Edition., 2011, XX, 1056 p.
4. Д.А. Беликов, А.В. Старченко Численная модель турбулентного переноса примеси в пограничном слое атмосферы, Оптика атмосферы и океана, т.20, №08. Томск: ИОА, 2007. С. 667-673
5. Д.А. Беликов, А.В. Старченко Исследование образования вторичных загрязнителей (озона) в атмосфере г. Томска, Оптика атмосферы и океана, т.18, №05-06. Томск: ИОА, 2005. С. 435-443
6. OWL Web Ontology Language Semantics and Abstract Syntax / Ed. by P. F. Patel-Schneider, I. Horrocks. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.w3.org/TR/owl-semantics/>.
7. А.Ю. Ахлестин, Н.А. Лаврентьев, А.И. Привезенцев, А.З. Фазлиев Информационная система трехслойной архитектуры //Труды семинара «Наукоемкое программное обеспечение», Новосибирск, 2011, с.38-43.
8. Руководящий документ РД 52.04.186-89
9. А.А. Барт, Д.А. Беликов, А.В. Старченко Математическая модель для прогноза качества воздуха в городе с использованием суперкомпьютеров, Вестник ТГУ, 2011, № 3. С. 15-24.
10. R. K. Srivastava, D. S. McRae, M. T. Odman Simulation of a reacting pollutant puff using an adaptive grid algorithm // J. Geophys. Res., 2001, Vol. 106, pp. 24245– 24257.
11. W.R. Stockwell , W.S. Goliff Comment on “Simulation of a reacting pollutant puff using an adaptive grid algorithm” by R. K. Srivastava et al. //J. Geophys. Res., 2002 Vol. 107. pp. 4643-4650.
12. De Roure D., N. Jennings, N. A. Shadbolt Future e-Science Infrastructure // Report commissioned for EPSRC/DTI Core e-Science Programme. 2001. 78 p.
13. А.А. Зиновьев Основы логической теории научных знаний. М.: Наука, 1967. 260 с.
14. М.А. Толстых, Н.Н. Богословский, А.В. Шляева , А.Ю. Юрова Полулагранжева модель атмосферы ПЛАВ // Гидрометцентр России 80 лет. М: Триада, 2010, с. 193-216.

15. Introduction to GRIB Edition 1 and GRIB Edition 2 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://www.wmo.int/pages/prog/www/WMOCodes/Guides/GRIB/Introduction_GRIB1-GRIB2.doc