

# Информационные ресурсы и Интернет-технологии для наук об окружающей среде

ФАЗЛИЕВ А.З.

*Институт оптики атмосферы СО РАН*

8 января 2004 г.

The article describes general properties of information resources (IR) and the structure of information-computational systems (ICS). It also highlights particular features of IR and ICS that are being developed in environmental sciences. Practical application of the internet-technologies is illustrated by the example of one of the sites of the ATMOS web portal.

## **Введение**

Особенностью наук об окружающей среде является оперирование с огромными массивами данных, которые иерархизированы по временным и пространственным масштабам. Сложность приборов, используемых для регистрации параметров окружающей среды, также в значительной степени иерархизирована, от простого термометра до сложных спутниковых комплексов. Все эти обстоятельства ставят перед исследователями нетривиальные задачи получения, обмена, обработки и представления накапливаемых разнородных данных.

Первой, и наиболее, на наш взгляд, актуальной задачей является превращение этих наборов данных в информационные ресурсы, включающие как данные, так и их метаданные для них. В США и ряде европейских стран такая задача успешно решается. В ряде университетов и общественных организациях разрабатываются рекомендации (стандарты) и свободно распространяемое программное обеспечение для коллективного пользования. Созданы системы распределенных вычислений и распределенных баз данных, формируется новая форма научных исследований — электронная наука [1].

Стоит отметить, что в настоящее время научная информация удваивается за 12 лет и на планете живет 90% всех ученых в обозримой истории [2], и, следовательно, проникновение в научную деятельность информационных технологий будет проходить все более быстрыми темпами.

Требования для сбора и организации доступа к массивам данных, трудности развития и работы с комплексными моделями данных, необходимость вычислений (достигаемых с помощью компьютерных систем высокой производительности или за счет распределенной сети вычислений) и растущее понимание того, что решение многих научных проблем находится на стыке научных дисциплин, ставит задачи развития информационных технологий в науке.

Науки об окружающей среде основаны в значительной степени на огромных массивах данных и одна из ключевых задач в информатизации этих наук состоит в организации коллективной работы с этими архивами.

## Информационные ресурсы

Хотя данные о наблюдениях включают в себя числовую информацию (печатную и электронную), графический материал и словесное описание и записи данных существуют на бумаге, пленке (микрофиши), магнитные диски, цифровой оптической среде и т.д., мы далее основное внимание сосредоточим на данных, представленных в электронном виде.

Упомянем некоторые принципы обращения с данными [2]. Прежде всего, данные являются критическим ресурсом, который необходимо сохранять, защищать и организовывать доступ к ним для всех пользователей в любое время суток. Последнее обстоятельство является существенным, поскольку значимость научных данных в их использовании. Архив данных должен быть расширяемым, вместительным и доступным. Для адекватного восприятия данных человеком, а также осмысленной машинной обработки они должны сопровождаться документацией или метаданными, что является необходимыми для преодоления барьеров в коллективном использовании научных данных (существующим решением для Интернет-ресурсов является подход Semantic Web [3–4]). Наконец, приемлемая и эффективная стратегия архивирования данных основана — использовании распределенных архивов, управляемых теми, кто обладает предметным знанием о данных (решение лежит в плоскости подхода Grid [5]).

При коллективной работе с данными существенным является задание форматов данных. В небольших научных проектах не обращают внимания на форматы данных, т.к. исследователи планируют и осуществляют работу со своими данными в узком кругу научного сообщества и любые семантические неувязки разрешаются на уровне личного общения. При проведении больших проектов устанавливается единый формат данных (World Ocean Circulation Experiment, World Climate Research Project, NASA's Mission to Planet Earth и т.д.) [6–8]. Проблема состоит в такой подготовке структурированных научных данных, при которой их интерпретация доступна всем уровням пользователей. Структура данных должна допускать все возможные пути полного восстановления информации о получении, архивировании и обработке данных.

Примерные объемы данных в науках об окружающей среде приведены в таблице, содержащей перечень данных в атмосферных науках [2] (Табл. )

Данные атмосферных наук имеют некоторые особенности. Метеорологические и другие атмосферные данные используются для разных целей в разных временных масштабах. Обычно выделяют три из них: текущие (реальный масштаб времени), недавнее прошлое или коротко-временная ретроспектива, ретроспектива или отдаленное прошлое. Большая часть атмосферных данных является темпоральными данными. Они динамически пополняются, их объем растет и они модифицируются. В силу своего происхождения временные ряды наблюдений за состоянием атмосферы, океана, Солнца никогда не будут «полными». Хотя конкретные экспедиционные программы заканчиваются конечным набором данных.

Продуманная многоуровневая система сбора, обработки и хранения атмосферных данных построена в США. Основной объем данных сосредоточен в центрах активных распределенных архивов (Distributed Active Archive Center (DAAC)) в число которых входят:

1. Alaska Synthetic Aperture Radar (SAR) Facility (ASF), содержащий данные о полярных процессах и радарные данные (<http://www.asf.alaska.edu/>);
2. EROS Data Center (EDC) Land Processes — поверхностные процессы (<http://landcover.usgs.gov/>);

Таблица 1. Объемы атмосферных данных

Тип набора данных	Комментарий	Годы	Объем
Прямые методы атмосферных наблюдений			
Атмосфера	2 раза в день, (1000 станций)	1962–1993	25Гб
Поверхность суши	8, (7500)	1967–1993	60Гб
Поверхность океана	8, (40000 набл. в день)	1854–1993	15Гб
Наблюдения GARP	поверхн. атмосфера (не спутники)	1978–1979	10Гб
США поверхность	1, (9000)	1990–1993	15Гб
Избранное (глобальное)			
Базовый анализ NMC	2, (4Гб в год)	1945–1993	50Гб
Расширенный анализ NMC	2, (19)	1990–1993	58Гб
NCAR наблюдения			8Гб
Расширенный анализ ECMRWF	4, (8)	1985–1993	76Гб
Спутники (избранное)			
Геостационарные NOAA	48, видимый и ИК диапазоны	1978–1993	130Гб
Полярные NOAA		1978–1993	720Гб
TOVS			5Гб
AVHRR			
EOS	88Тб в год	1998–	
Радарные данные США			
Область 30–60 км		1973–1991	1Гб
NEXRAD		1997–	400Тб

3. Goddard Space Flight Center (GSFC) — верхняя атмосфера, глобальная биосфера, атмосферная динамика и геофизика (<http://www.gsfc.nasa.gov/>);
4. Jet Propulsion Laboratory (JPL) Physical Oceanography — физическая океанография (<http://www.jpl.nasa.gov/>);
5. Langley Research Center (LaRC) DAAC — радиационный бюджет, тропосферная химия, облака и аэрозоли (<http://eosweb.larc.nasa.gov/>);
6. National Snow and Ice Data Center (NSIDC) — снег и лед, криосфера (не спутниковые данные) и климат (<http://nsidc.org/>);
7. Oak Ridge National Laboratory (ORNL) — биохимическая динамика (<http://www.ornl.gov/>).

Например, распределенная информационная система «Наблюдение за Землей» (EOS DIS) строится для сбора и обработки данных и их связи с данными центров активных распределенных архивов. Инструментальные и научные команды развивают алгоритмы для обработки данных и генерации продуктов данных, а центры обеспечивает сервисы пользователя. EOS DIS устанавливает требования для создателей информационных систем и координирует работу центров. Бюджет EOS DIS составляет 2.000.000.000\$ на 10 лет. Треть годового бюджета тратится на программное обеспечение, треть на зарплату и остальное тратится на получение данных и оплату коммуникаций.

Данные об окружающей среде, доступные в сети Интернет и организованные на других принципах, можно найти по следующим адресам:

- Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC) at the Consortium for International Earth Science Information Network (CIESIN) Human interactions in the environment (<http://sedac.ciesin.org/>);
- Global Hydrology Resource Center (GHRC) at Marshall Space Flight Center — гидрологический цикл (<http://ghrc.msfc.nasa.gov/>);
- National Climatic Data Center (NCDC) of National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) — климат и погода (<http://www.ncdc.noaa.gov/>);
- National Geophysical Data Center (NGDC) of NOAA — геофизика суши, геология и геофизика морей и океанов, солнечно-земная физика и палеоклиматология (<http://www.ngdc.noaa.gov/>);
- National Oceanographic Data Center (NODC) of NOAA — океанография (<http://www.nodc.noaa.gov/>);
- Satellite Active Archive (SAA) of NOAA (NOAA) — спутниковое дистанционное зондирование (<http://www.saa.noaa.gov/>).

Стоит отметить значительную работу с метаданными, выполняемую National Virtual Data System (NVDS) (<http://www.nvds.noaa.gov/>), обращение к которым существенно облегчает поиск необходимых ресурсов.

Определенная часть работы по организации доступа к данным о свойствах окружающей среды проводится университетами США в рамках UCAR (Объединение университетов для атмосферных исследований). В этой организации создается распределенная

электронная библиотека [9] с ресурсами в области исследования атмосферы и проводится систематизация программного обеспечения и данных в области исследования атмосферы [10].

Стоит отметить программы создания информационных ресурсов, ориентированных на исследование окружающей среды для образовательных целей. Среди них можно выделить Alexandria Digital Library [11], содержащую среду для обучения студентов.

В Европейском союзе также создаются распределенные базы данных по разным разделам наук об окружающей среде. Однако охват тематики и вложение денег в данную активность значительно меньше. Например, в Англии атмосферные данные сконцентрированы в центре атмосферных данных (BADC) [12]. Совсем скромным выглядят усилия российских ученых и их финансирование на создание подобного рода информационных ресурсов.

## **Информационные технологии для исследований**

Различие в науках об окружающей среде обусловлено разными предметами исследований (почва, атмосфера, моря и океаны, и т.д.), а также, что принципиально для нас в данной работе, в использовании разных информационных технологий для обработки данных.

Как отмечено в [2], для дисциплин, ориентированных на работу с данными, главным является их визуализация, при которой используются типовые сервисные алгоритмы и программное обеспечение. Для дисциплин, основной акцент в которых делается на математические модели предметной области, ключевыми ресурсами являются алгоритмы и программное обеспечение и принципиальным является скорость вычислений и точность. Такое разделение отмечено в информатике в подходе Вирта [13], который сводится к тезису: программа = структуры данных + алгоритмы. Как уже отмечалось выше, для первой группы дисциплин в информатике развивается подход, называемый Semantic Web. Вторая группа дисциплин требует развития распределенных вычислений (Grid). Средой для реализации обоих подходов является сеть Интернет, позволившая реализовать основные условия для сотрудничества ученых разных стран и разделов наук. Стало возможным создание распределенных массивов данных и программного обеспечения, которое в последнее время приобретает новую форму — веб-сервис. Появление в Интернете многочисленных информационных порталов по естественным наукам способствует интеграции разных разделов науки, но до сих пор произошла массовая смена парадигмы по отношению к типу применяемого интерфейса. До сих пор подавляющее большинство исследователей работает в интерфейсе компьютер–человек. Основной недостаток этого интерфейса связан с нерешенностью корневой проблемы коммуникации человека с компьютером — однозначного соотнесение семантики естественного языка и программных средств.

Представим наше понимание данной проблемы. В наших работах [14–15] по созданию информационно-вычислительных систем последние рассматриваются как иерархизированные системы управления заданиями. Пользователь обрабатывает информационные ресурсы (данные и метаданные) в рамках типовых методов предметной области. Работа с данными осуществляется средствами СУБД, метаданные описываются с помощью RDF и онтологий, а математические модели для разделов наук реализованы на алгоритмических языках программирования. Информационные ресурсы и алгоритмы связывает между собой пространство понятий, введенных для описания физических величин и расчетных параметров. Природа физических величин задана исследуемой предметной

областью. Расчетные параметры могут быть не связаны с предметной областью. Название полей в БД, классов и свойств в RDF и онтологиях, идентификаторов расчетных программ семантически связаны с этим пространством понятий, характеризующим программную реализацию ИВС, которую, в отсутствие внешнего интерфейса, назовем сервисом. Внешними для сервиса могут являться разные интерфейсы. В портале по атмосферным наукам (<http://atmos.iao.ru>) основным является интерфейс компьютер–человек и с ним связана диалоговая система, являющаяся структурой данных, содержащей некоторое подмножество понятий. Одни и те же по смыслу понятия входят в разные структуры данных, метаданные, алгоритмы и структуры диалоговых систем в зависимости от уровня их представления и функционального назначения. Так, например, система управления меню опирается на понятия, связанные со структурами данных диалоговой системы и на прикладную логику, обусловленную предметной областью, на которую ориентирована ИВС. Система управления данными пользователя оперирует именами из подпространства понятий, связанными с расчетными алгоритмами. Система управления доступом к информационным ресурсам может опираться на понятия, относящиеся к этому пространству. Ясно, что в ИВС должен быть механизм создания элементов этого пространства, их описания и установления связей между ними (правил). Примером построения такого механизма является программное обеспечение для построения портала [14]. Ниже на рис. 1 показан интерфейс для составления правил управления меню диалоговой системы в ИВС «Атмосферная химия».

Дополнительные средства ИВС, такие как библиографические подборки, тематические словари, Интернет-ссылки являются вспомогательными материалами, ориентированными на текстовую интерпретацию связей между понятиями и их определения в разных формах.

Menu item operation		Control parameters
	Parameter name	Description
<input type="checkbox"/>	albedo	Альbedo отражающей поверхности Земли
<input type="checkbox"/>	altitude	Высота в модели атмосферы
<input type="checkbox"/>	arbit-intensity	Спектральный ход интенсивности, заданный пользователем (произвольные условия)
<input type="checkbox"/>	arbit-temperatur	Температура заданная пользователем (произвольные условия)
<input type="checkbox"/>	atmos-model	Выбранная для анализа коэффициента скорости фотохимической реакции модель атмосферы

Рис. 1. Интерфейс для задания правил управления меню.

Работа в интерфейсе компьютер–человек требует от исследователя на каждом шаге принятия решений (например, к какому следующему пункту меню надо переходить). Часто принятие таких решений можно формализовать и укрупнять пункты меню. Однако каждое такое укрупнение ограничивает круг пользователей, которым доступен соответ-

ствующий уровень абстракции. Известно, что прямая манипуляция данными в ИВС зависит от компетентности пользователя и ориентирована на задачи характерные для замкнутого, статического и структурированного информационного мира. Используемые при этом методы опираются на визуализацию объектов, действиями над объектами должны соответствовать действиям над реальными объектами, и, ничего не происходит без участия пользователя.

Альтернативой является переход от прямой манипуляции к непрямому управлению.

При непрямом управлении пользователь делегирует свои интересы, привычки и предпочтения, а агенты делают предположения и/или действуют от имени пользователя и действие происходит во времени независимо от того активен или нет пользователь.

## Агентные технологии

Перспективы применения современных информационных технологий, по нашему мнению, лежат в развитии интерфейса компьютер-компьютер, а ведущая роль в будущем принадлежит агентным технологиям. Необходимо сделать очередной шаг в передаче программному обеспечению ряда рутинных задач все еще требующих вмешательства человека. С точки зрения научных потребностей это, прежде всего, поиск и выбор необходимых информационных ресурсов. Перепоручение такого рода работ круглосуточно работающему программному обеспечению позволяет высвободить значительное время для научной работы. В науках об окружающей среде сферой применения агентных технологий является интеллектуальное обслуживание сетей мониторинга параметров окружающей сети и предоставления типового информационного сервиса для организаций (аэропортов, администраций органов местного самоуправления и т.д.).

Для понимания, что из себя представляют агентные технологии кратко опишем, опираясь на [16], основные типы и роли программных агентов.

Так что же такое агент? Еще недавно так называли теоретическую концепцию из искусственного интеллекта, а сейчас — вычислительную систему, которая долго живет, имеет цели, сенсоры и исполнительные органы и автономно решает какие действия принимать в текущей ситуации для выполнения цели за минимальное время.

Принято выделять следующие типы агентов: автономные роботы, синтетические характеры, помощники эксперта и программные агенты («знаботы» (knowbots), «прогботы» (softbots)). Ниже описаны некоторые характерные черты программных агентов.

Чем агент отличается от прочего программного обеспечения? Он персонифицирован, ориентирован на определенную цель, инициативен, автономен и долгоживуч и адаптивен.

Чем вызвана необходимость использования программных агентов? В современном мире большинство задач решаются на компьютерах, распределенная в сети информация является неструктурированной, большинство пользователей не подготовлены для работы с новыми информационными технологиями, семантика при обмене данными между программами в большей мере однозначна, чем при диалоге человека с компьютером.

Программный агент — это один из типов агентов, помогающих пользователю при решении компьютерных проблем. Различие между разными видами программных агентов показано на рис. 2.

Существует ли различие между экспертными системами и агентами? Следуя работе [16] отметим, что пользователями экспертных систем являются эксперты, тогда как работа с агентом не требует высокого уровня подготовки. Агент соответствует интеллектуаль-

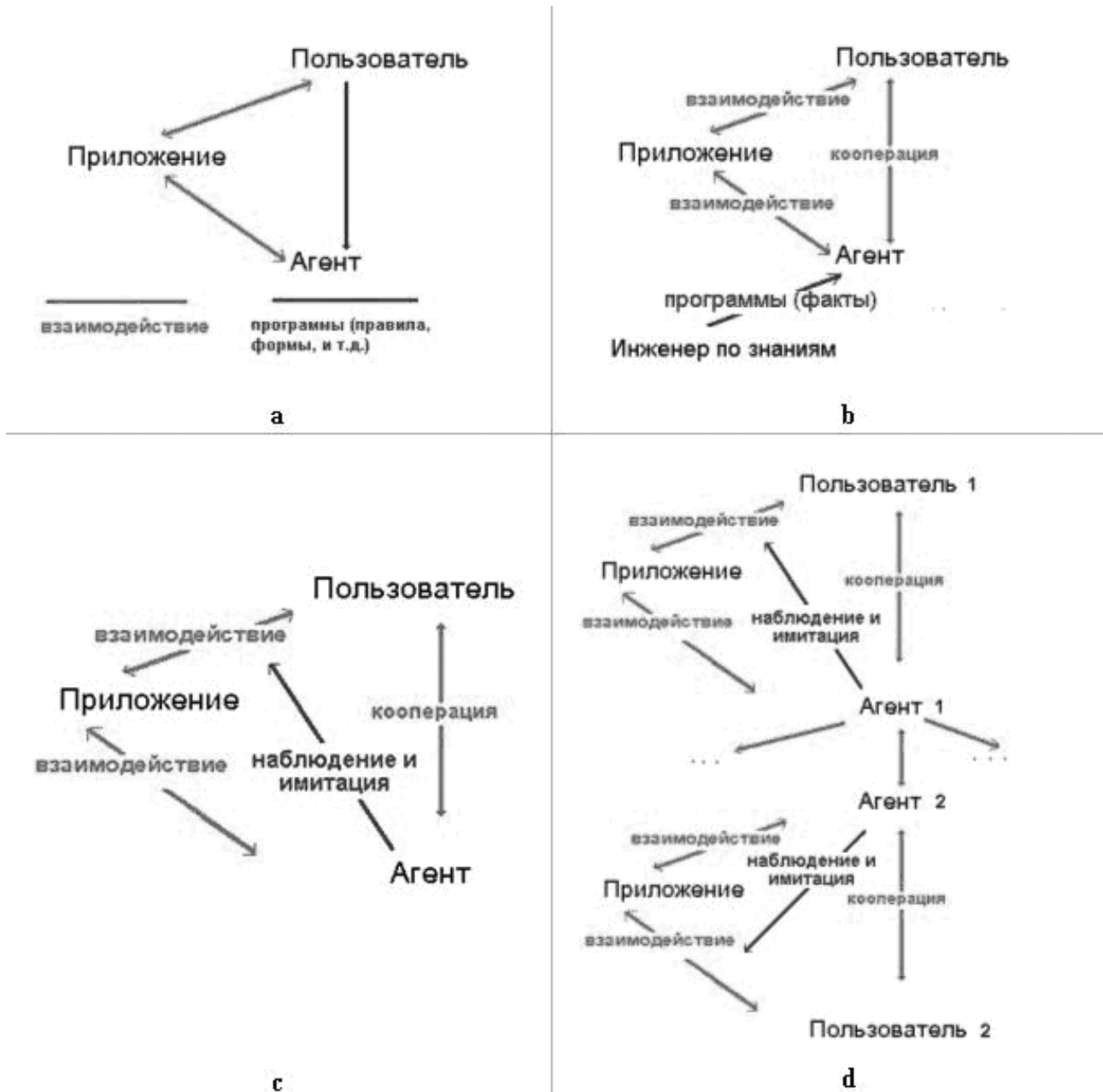


Рис. 2. Некоторые виды программных агентов. а — типовой программный агент, б — агенты, основанные на знаниях, с — обучение агента пользователем, d — обучение от других агентов.



ному уровню пользователя программирующего его и может совершать разные действия в одной и той же ситуации, тогда как экспертная система одни и те же. Вторым важным обстоятельством является тот факт, что агенты ориентированы на решение типовых задач, а экспертные системы на — комплексные задачи. Наконец, агентов можно обучать при их перемещении по информационной среде, тогда как экспертные системы пассивны.

Каждый вид агентов можно ориентировать на работу с пользователем или в качестве фоновой программы, разными способами обеспечивать его «интеллектом» и делать его в сети мобильным или статичным? Наиболее распространенным агентом, по-видимому, является почтовый клиент, который знает интересы, привычки и предпочтения, может действовать по поручению, все большую популярность приобретают новостные агенты и т.д. Сервисные агенты решают общие задачи в фоновом режиме, например, веб-индексирование, поиск информации. Обеспечение агента навыками («интеллектом») может осуществляться тремя разными способами: пользователь непосредственно обеспечивает правила и критерии, инженер по знаниям формирует их на основе искусственного интеллекта и агенты обучаются у себе подобных.

Приведенные возможности агентов не исчерпывают список (см.[17]). Однако, стоит отметить назначение агентных технологий в науках об окружающей среде. Как упоминалось выше технической основой, связывающей распределенные данные, экспериментальные установки и сети мониторинга окружающей среды, является Grid. Роль агентных технологий в науках об окружающей среде состоит в обеспечении работ сети мониторинга, контроля за данными, отслеживания аномалий в измеренных физических характеристиках, проверка запрограммированных связей между физическими и химическими характеристиками среды.

## Агенты, сервисы и онтологии

Две ключевые проблемы надо решить для полноценного использования агентов. Первой из них является формализация сервисов в узлах Grid (серверах) и установление стандартов на их использование. Это проблема решается введением протокола SOAP и языка сервисов WSDL. Вторая проблема состоит в отказе от жестких логических структур, используемых в сервисах [18]. Для этого должно быть разработано машинно-читаемое описание сервисов и некоторая логика, позволяющая использовать сервисы. Решение этой проблемы лежит в русле Semantic Web.

Сформулируем принципы Semantic web [3–4].

- Любая вещь может иметь URI#xxx.(URI-уникальный идентификатор ресурса).
- Словари можно объединять и со временем заменять.
- Документы описывают себя сами.
- «Каждый может сказать все обо всем»
- Ни одна система не знает всего.

Не ограничивая общности под любой вещью можно понимать как материальный объект, так и произвольное понятие, представляемые в виде электронного информационного ресурса. Описание их представляет набор знаков (документ), поддающийся машинной

обработке. Трактовка этих наборов осуществляется в рамках понятий, описанных в словарях, которые можно со временем модифицировать и заменять. Утверждения об объектах содержатся в документах описывающие вещи. Документ может быть читаем человеком и разбираем компьютером. Для машинной обработки всегда должен существовать метаданные для документа. При формировании документа метаданные должны создаваться автоматически. Допустимы любые утверждения в документах, но нет системы, которая содержит все утверждения и может отделить истинные утверждения от ложных.

Из этих принципов вытекает, что если стремиться к машинной обработке данных, то, например, при записи автора статьи, то не употребляйте термин «автор», а используйте соответствующий URI из общего словаря или какого либо иного, например, используйте <http://dublincore.org/2003/03/24/dces#creator>".

На рис. 3 показана пирамида Semantic Web. На нижней ее ступени находятся кодировка знаковой системы и универсальные идентификаторы ресурсов. Следующий уровень связан с расширяемым языком разметки [19] (XML) применяемого для структурирования данных и составления схемы (словаря) описывающей структуры данных. Пространство имен вводится для обеспечения механизма уникальности понятий. Для идентификации агентов введено понятие подписи [20], которая должна однозначно идентифицировать агента. Подпись должна передаваться в зашифрованном виде [21]. Описание метаданных необходимое для машинной обработки данных осуществляется средствами RDF [22], RDFS [23] и OWL [24]. На этом уровне синтаксис, предоставляемый в XML, дополняется семантической конструкцией — бинарным утверждением [22]. В структуру утверждения входят субъект, предикат и объект.

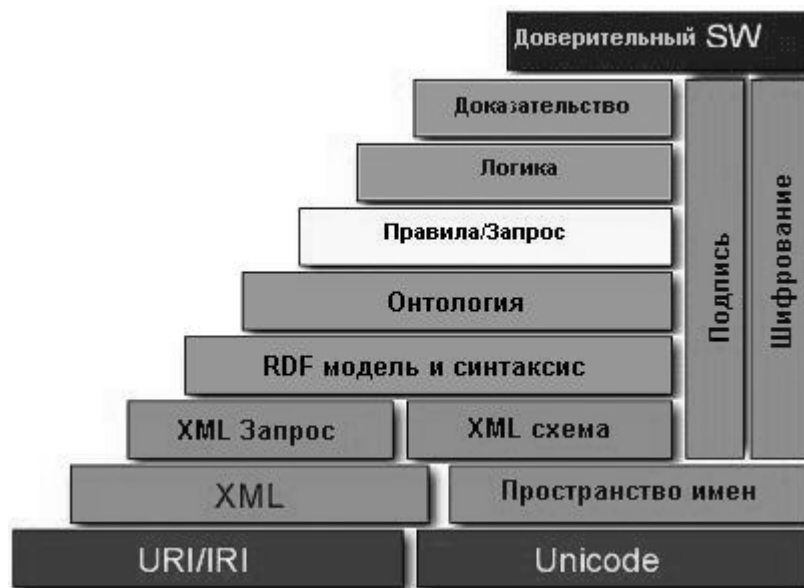


Рис. 3. Пирамида Semantic Web [4]

Онтология добавляет характеристики свойств и ограничения на них, что делает описание ресурсов более детальным и позволяет использовать разную терминологию после установления эквивалентности понятий. Три следующих уровня, включающие в себя правила вывода, логический разбор выражений и доказательство их истинности, являются основой для принятия решения на уровне доверия к выполненному анализу контента ресурса. Стоит напомнить, что все утверждения в вебе связаны с некоторым контекстом

и он необходим приложениям для оценки достоверности утверждений. Машинная обработка в вебе не предполагает, что все утверждения находящиеся в вебе «истинные» и уровень доверия оценивается каждым приложением.

Работы по созданию онтологий для наук об окружающей среде находятся еще в самом начале, хотя можно отметить серию работ по онтологиям геоинформационных систем [26], и работу по онтологии для атмосферной молекулярной спектроскопии [15].

## Заключение

В статье дан краткий обзор некоторых направлений в информационных технологиях развивающихся в последние несколько лет и представлены перспективы их использования в науках об окружающей среде. Она написана на основе лекции, прочитанной для молодых ученых в сентябре 2003 г. Дополнительные сведения об информационных ресурсах о состоянии окружающей среды можно найти в работе [27].

Автор благодарен за финансирование работы фонду ИНТАС (проект 00–189).

## Список литературы

- [1] М.Р. КОГАЛОВСКИЙ Научные коллекции информационных ресурсов в электронных библиотеках, Труды первой Всероссийской конференции «Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции», С.-Петербург, 1999, с. 16–31.
- [2] Preserving Scientific Data On Our Physical Universe, National Academy Press, Washington, D.C. 1995.
- [3] TIM BERNERS-LEE, DAN BRICKLEY, DAN CONNOLLY, SANDRO HAWKE, JOSE KAHAN, MARJA KOIVUNEN, ERIC MILLER, ERIC PRUD'HOMMEAUX, RALPH SWICK, DANNY WEITZNER IN COLLABORATION WITH D. KARGER AND L. STEIN/OLIN The Semantic Web. (<http://www.w3.org/2002/Talks/09-lcs-sweb-tbl/slide1-0.html>)
- [4] IVAN HERMAN Introduction to the Semantic Web, <http://www.w3.org/2003/Talks/1112-BeijingSW-IH/>
- [5] DAVID DE ROURE, NICHOLAS JENNINGS, NIGEL SHADBOLT A Future e-Science Infrastructure, Report commissioned for EPSRC/DTI Core e-Science Programme, 2001, 78 p.
- [6] Supporting Research and Data Analysis in NASA's Science Programs. Engines for Innovation and Synthesis, National Academy Press, Washington, D.C., 1998.
- [7] National Collaboratories: Applying Information Technology for Scientific Research, National Academy Press, 1999.
- [8] Review of NASA's Distributed Active Archive Centers, National Academy Press, 1999.
- [9] DLESE (Digital Library for Earth System Education), <http://www.dlese.org>
- [10] Unidata Program Center, <http://my.unidata.ucar.edu/>

- [11] Alexandria Digital Library Geospatial Network <http://www.alexandria.ucsb.edu/>
- [12] <http://badc.nerc.ac.uk/>
- [13] ВИРТ Н. Алгоритмы+структуры данных=программы: Пер. с англ., под редакцией Подшивалова Д.Б., М., Мир, 1985, 406 с.
- [14] АХЛЁСТИН А.Ю., ГОРДОВ Е.П., ДЕРУДДЕР А., КРУТИКОВ В.А., ЛЫКОСОВ В.Н., МИХАЛЕВ А.В., ФАЗЛИЕВ А.З., ФЕДРА К. Интернет портал о свойствах атмосферы. Структура и технологии. Труды Всероссийской конференции «Математические и информационные технологии в энергетике, экономике и экологии», ч. 2, Иркутск, 2003, с. 247–254.
- [15] РОДИМОВА О.Б., ТВОРОГОВ С.Д., ФАЗЛИЕВ А.З. Онтология по молекулярной спектроскопии атмосферных газов, Труды 5 Всероссийской конференции «Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции», С-Пб., 29–31 октября 2003, с. 211–215.
- [16] PATTIE MAES, SOFTWARE AGENTS <http://web.media.mit.edu/pattie/CHI97/tsld001.htm>
- [17] UMBC AgentWeb , <http://agents.umbc.edu/>
- [18] JAMES HENDLER Agents and the Semantic Web, IEEE Intelligent Systems Journal, 2001, Vol. 16, No. 2, pp. 30–37.
- [19] Extensible Markup Language (XML) 1.0 (Second Edition), W3C Recommendation 6 October 2000, <http://www.w3.org/TR/2000/REC-xml-20001006>
- [20] XML-Signature Syntax and Processing , W3C Recommendation 12 February 2002, <http://www.w3.org/TR/2002/REC-xmlsig-core-20020212/>
- [21] XML Encryption Syntax and Processing, W3C Recommendation 10 December 2002, <http://www.w3.org/TR/xmlenc-core/>
- [22] Resource Description Framework (RDF): Concepts and Abstract Syntax, W3C Working Draft 10 October 2003, <http://www.w3.org/TR/2003/WD-rdf-concepts-20031010/>
- [23] RDF Vocabulary Description Language 1.0: RDF Schema, W3C Working Draft 10 October 2003, <http://www.w3.org/TR/2003/WD-rdf-schema-20031010/>
- [24] OWL Web Ontology Language: Semantics and Abstract Syntax, W3C Candidate Recommendation 18 August 2003, <http://www.w3.org/TR/2003/CR-owl-semantics-20030818/>
- [25] ORA LASSILA RDF Metadata and Agent Architectures, <http://www.objs.com/workshops/ws9801/papers/paper056.html>
- [26] W. Kuhn, Ontologies in support of activities in geographical space, Int. J. of Geographical Information Science, 2001, v. 15, n. 7, p. 613–631
- [27] Е.Д.Вязилов Информационные ресурсы о состоянии природной среды, М., Эдиториал УРСС, 2001, 312 с.