

ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В УПРАВЛЕНИИ РАЗВИТИЕМ ГОРОДА: ПРОБЛЕМА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОНТОЛОГИЙ

Abstract. The aim of this paper is to analyze the problems of using computer ontologies in decision support systems for urban development planning for elaboration of intelligent information systems. The matters of ontologies development are examined, the existing experience, problems, and specifics of their building and using are considered in the spatial context of the city.

Введение. *Целью данной статьи является анализ проблемы использования компьютерных онтологий в поддержке принятия решений в управлении развитием городов для разработки соответствующих интеллектуальных информационных систем. Исследуются вопросы развития онтологий, рассмотрен существующий опыт, проблемы и специфика построения и использования, в пространственном контексте города.*

1. Картины мира, знание и онтологии.

Многообразии взглядов разных отраслей знания на проблемы и объект управления пространством жизнедеятельности человека и его природное окружение, порождает различные, часто альтернативные подходы как на уровне теории, так и в практическом аспектах реализации информационных систем ППР в различных областях.

С ростом быстродействия компьютерной техники и появления новых информационных технологий интерес к более достоверным и обоснованным методам решения сложных, крупноразмерных задач принятия решений в социально-экономическом, территориальном и экологическом планировании и управлении существенно растет.

Разрабатываемое для решения этих задач различное программное и информационное обеспечение, несмотря на наличие общей информационной компоненты, часто имеет проблемы корректной стыковки баз данных и программных приложений между собой. Пробелы в существующем научном знании делают его использование проблематичным, а дальнейшую модернизацию с учетом нового знания невозможной без существенной доработки, цена которой часто превышает стоимость нового программного кода.

Как известно, эволюция технологии создания программных систем привела к созданию объектно-ориентированного подхода и унифицированных сред программирования, автоматически генерирующих программный код, выработке стандартных подходов в проектировании корпоративных информационных систем на базе описаний структур приложений, взаимодействия

их с пользователями и предметной области (CASE-средства, нотации UML на базе RUP, семейства нотаций IDEF).

Однако нерешенность вопроса появления нового объективного знания о предметной области и о проблемах, для которых разрабатываются информационные системы, ставит задачу его выявления, а также формализации, описания и фиксации возникающих новых требований.

С одной стороны, при часто возникающих сложных ситуациях поддержки принятия решений слабоструктурированных проблем целесообразной стала разработка различных экспертных систем, основанных на знаниях, полученных от специалистов-экспертов в соответствующих отраслях знания.

С другой стороны, с развитием сложности и общей величины информации, производимой в мире, общедоступных сетей ее передачи (интернет и интранет), стали разрабатываться знаниеориентированные системы в целях классификации и эффективного информационного поиска удаленных данных и документов в корпоративных хранилищах и всемирной WWW -паутине.

Попытки унификации различных подходов при решении сложных задач, требующих наличия интеллектуальной компоненты, в том числе с использованием знаниеориентированных систем, приводят к пониманию необходимости создания общеупотребительной терминологии, категоризации понятий и унификации их смысла, т.е., общего и доступного для многих понимания и описания явлений и проблем различных предметных областей. Указанной цели призвано служить создание компьютерных онтологий, входящих в обобщенную категорию систем, основанных на знаниях. В отличие от экспертных систем, где формализуются и используются знания отдельных экспертов, онтологии строятся как согласованное и *широко разделяемое описание* некоторого *обобщенного домена знаний* (как правило, проблемно-ориентированного). Таким образом, *проблема создания и использование онтологий как описания знания предметных областей, является важной научной и практической задачей построения систем, основанных на знаниях, успех решения которой способствует развитию компьютерной инженерии, информатики, искусственного интеллекта и других фундаментальных и прикладных дисциплин*, расширяет возможности прикладного применения передовых интеллектуальных информационных технологий во многих предметных областях (в том числе и тех, где они раньше не использовались).

При необходимости решения задач поддержки совещательных, партиципативных, консенсусных и других «демократических» или «широких» способов принятия решений, т.е. с участием и/или учетом мнений многих людей, возникают особые требования формально-логического плана. В работе [1] автора проанализированы возможные ситуации несогласованности частных описаний домена знаний, названные автором *когнитивными препятствиями*. Клещев и Е.Шалфеева в работе [2] детально рассматривают проблемы качественного анализа структуры онтологий при их построении, предлагая соответствующую методологию «улучшения» этой структуры. Е.Ильина исследует эти проблемы, разрабатывая строгий логико-математический аппарат

для процедур согласования частных точек зрения экспертов на требующую решения проблему, т.е. в партисипативном принятии решений (в частности, работа [3]).

Наиболее известными сегодня авторами по теме онтологий являются Т.Грубер, Н.Гуарино, Б.Смит, Дж. Сова, А. Гомес-Перес. В области пространственных и геоинформационных онтологий наряду с Б.Смитом и А. Гомес-Перес хорошо известны также А.Марк, М.Эгенхофер, Ж.Теллер, К. Руссо, Р.Лаурини, в последние годы – Ф. Фонсека, Н. Каза, Х. Шиверс. При написании данной работы проведен анализ исследований и публикаций большинства приведенных выше авторов.

2. Философское содержание и современное видение онтологий.

Философское понятие онтологии, идущее еще от теории категорий Аристотеля, использовалось уже его ранними учениками в смысле понятия «метафизика» (сам Аристотель называл это «первичной» философией). Позже понятие онтологии вновь появляется в 1613 г. в "Lexicon philosophicum" Рудольфа Гёккеля (Göckel (лат. Goclenius)) и в "Theatrum philosophicum" Якоба Лорхарда (Lorhard (лат. Lorhardus)) [4]. Онтология в философии – это раздел, занимающийся описанием универсальной философской картины бытия, его категорий и взаимосвязей между ними.

В наше время понятие онтологии было фактически «позаимствовано» компьютерными науками в связи с возникновением проблемы так называемой «Вавилонской башни» [4]. Суть ее в следующем. Поскольку различные группы разработчиков информационных систем используют различные термины и концепты, в которых описывается и представляется информация, возникают различные метки (имена) описаний, или одинаковые по значению метки описываются через различные наименования. По мере увеличения количества разных групп людей, вовлеченных в переработку разнообразных массивов информации, в геометрической прогрессии растет и число задач ее согласования и систематизации, что требует разрешения семантической и концептуальной рассогласованности частных описаний [1].

И инженерный, и когнитивный взгляды на мир существенно необходимы для порождения малых теорий, объясняющих поведение определенных частей реальности. Первый нужен для интеграции инженерного знания внутри системы, второй для понимания ее пользователем на уровне интерфейса.

Компьютерные онтологии стали попыткой решения отмеченной выше рассогласованности путем «канонизации» наименований и понятий для описаний предметных областей, стандартизации используемых сущностей, категорий и связей. Первым этапом такой канонизации в наше время стали словари-тезаурусы, например WoldNet, который не совсем корректно относят к так называемым *онтологиям верхнего уровня*, т.е. описывающим наиболее общие базовые свойства мира в виде концептуальной модели составляющих его сущностей. В настоящее время разработаны несколько крупных онтологий верхнего уровня (Dublin Core, GFO, OpenCyc / ResearchCyc, SUMO а также DOLCE); одной из широко известных является онтология Дж.Сова,

содержащая небольшое число концептов – наиболее фундаментальных категорий [5].

Мнение о том, что задачей онтологии является максимально широкое и выразительное описание картины действительного мира, вызвало неоднозначную реакцию у философов. Квайн (Quine, 1953) в связи с этим заявил, что каждая естественная наука имеет свой собственный набор объектов и типов сущностей, образуя собственную теорию, воплощающую лишь частную онтологию. Она определяется словарем соответствующей теории и ее формализацией на языке логики первого порядка. По Квайну, онтология *per se* (сама по себе) не является метауровневым исследованием онтологических суждений (взглядов на мир) или их наложений в различных естественных науках. Чем сложнее решаемые при разработке информационных систем исследовательские и прикладные задачи, тем труднее построить общую картину предметной области [4], в силу различия частных описаний с учетом возникновения когнитивных препятствий [1] (в терминах психологии – появления когнитивного диссонанса). Разработчики на базе своего видения пытаются приспособиться к различным группам пользователей, обладающими отличающимися концептуальными схемами. Гуарино [6] подчеркивает существенную разницу в определении онтологии в философском смысле и способом употребления этого термина в сфере информатики и искусственного интеллекта. В последнем случае онтология рассматривается как инженерный артефакт, описывающий определенную реальность со специфическим словарем, используя множество утверждений, относящихся к заданному содержанию словарных слов, тогда как у философов онтология характеризуется как частная система категорий, отражающих специфический взгляд на мир. Поэтому, в философском смысле говорить о множественности онтологий некорректно. Смит [7] предлагает терминологически различать *референтно-ссылочную* онтологию, или *онтологию на основе реальности* (R-онтология), и восходящую (*elicited*), или *эпистемологическую онтологию* (E-онтология). R-онтология есть теория о том, как организована вселенная в целом, что корреспондирует с точкой зрения философов. E-онтология покрывает цели инженеров-программистов и ученых-информатиков и может быть определена как теория о том, как данный индивидуум (группа, язык или научная дисциплина) концептуализирует данный домен.

Ставшее каноническим определение Грубера гласит, что «онтология есть эксплицитная спецификация концептуализации», где в качестве концептуализации выступает описание множества объектов предметной области и связей между ними; сегодня это далеко не единственное определение. Несколькую иную интерпретацию понятия онтологии дает Гуарино [6]:

«*Онтология* – логическая теория, объясняющая *семантическое значение* формального словаря, то есть его *онтологической зависимости* от специфической *концептуализации* некоторого фрагмента мира. Подразумеваемые модели логического языка, используя такой словарь, ограничены его онтологической зависимостью. Онтология косвенно отражает эту зависимость (и

основную концептуализацию), аппроксимируя эти подразумеваемые модели».

Концептуализация по Гуарино представляется в виде тройки $\langle W, D, R \rangle$, где **W** – набор возможных миров, **D** – набор объектов из предметной области, **R** – набор интенциональных отношений в этой области. Иными словами, концептуализация – набор правил, ограничивающий структуру фрагмента реальности.

Есть и другие определения и трактовки понятия онтологий, большинство из них подчеркивает их знаниеориентированный характер.

3. Различные уровни онтологий. Построение онтологий часто начинают с категоризации наиболее общих «высоких» базовых понятийных уровней. Так были разработаны упоминавшиеся выше *онтологии верхнего уровня*, которые представляют собой системы терминов определенной области знаний на базе терминологического словаря; их структура содержит иерархию понятий в виде семантической сети. *Онтологии верхнего уровня* описывают наиболее общие концепты (например, для геоинформационных систем, теория, описывающая целое и его части, а также топологические соотношения между ними, называется мереотопологией и относится к верхнему уровню).

Онтологии предметных областей (доменов) содержат категорийно-понятийный аппарат предметной области, также имеющие структуру семантической сети; источниками для нее являются различные научные публикации. Они описывают словарь, относящийся к исходному домену предметной области, к примеру, транспорт, строительство, экологию города.

Онтологии задач описывают решения конкретных задач или некоторую деятельность. Источником знаний для них служат знания специалистов-аналитиков, спецификации структур и методов обработки данных. Их структура представляет собой базу продукционных правил.

Онтологии приложений описывают концепты, относящиеся как к предметной области, так и к задаче, и обычно их конкретизирующие. Они отражают потребности пользователя, относящиеся к определенному приложению и содержат правила вывода, построенные на концептах и связях *онтологий предметных областей* и *онтологий задач*. Структуры их состоят из семантических сетей и баз продукционных правил (Найханова, 2005 [8], Барри Смит, 1995 [4]). Отметим, что понимание онтологий как логической теории формально означает возможность представления их как баз знаний на языках логики первого порядка.

Анализ доступных научных публикаций показывает недостаточную научную проработку методологических аспектов, связанных с построением конкретных онтологий для информационных систем на базе учета всех указанных выше типов онтологий, особенно с учетом специфики решаемых задач и области применения

4. Концептуализация, объекты и онтологии пространственных систем.

Структура области территориального развития городов характеризуется большой когнитивной сложностью феномена города как системы [9]. Задачи построения информационной системы управления развитием такого сложного объекта требуют переработки огромных массивов информации, включая ее тщательный сбор, структурирование, анализ и использование. Кроме того, научное знание о городе как объекте управления остается во многом разбросанным по разным дисциплинам, поэтому совместное эффективное использование его все еще остается проблематичным.

Поэтому использование онтологического подхода выглядит достаточно привлекательным для разработки сложных информационных систем в управлении развитием городов. Однако здесь имеется несколько серьезных проблем.

Корень их лежит в осознании того факта, что города – распределенные, неоднородные пространственные системы с особыми свойствами, требующие баз пространственных географических данных с привязанной атрибутивной информацией, организованных особым образом. Примером может служить хотя бы необходимость хранения картографической проекции и системы координат - при их смене топологические свойства и геометрия объектов могут драматически меняться вследствие естественной кривизны Земли.

Для концептуализации пространственных систем, имеющих географический контекст, Барри Смит вводит два типа объектов - *bona fide* и *fiat* объекты, основывая такую классификацию на граничных характеристиках их географических свойств[4]. Оригинальные (*bona fide*) объекты имеют *границы, существующие независимо от когнитивных актов и восприятия человека*, типа границ речных заливов и береговых линий и т.п. *Fiat*-объекты прямо не корреспондируют с неоднородностью географических сущностей, они абстрактны и созданы волей решений человека, обычно в связи с правовым или политическим актом. Городская среда, хотя и содержит *bona fide* объекты, во многом состоит из *fiat* объектов. Те же реки, протекая через городские пространства, имеют обустроенные человеком границы и могут быть скорее *fiat* объектами. Смит отмечает, что большинство горожан живут в иерархии *fiat* объектов. Они могут быть специфицированы в онтологиях, связанных с политическими решениями (административные границы, границы земель с различным режимом землепользования, красные линии улиц и так далее, даже захваченные территории). Их появление всегда связано с действиями и когнитивными актами человека.

В последние годы появилось мнение о необходимости особых «геоинформационных» онтологий для систем с пространственной компонентой в силу специфики географических данных. Относятся ли они к онтологиям приложения, задач или онтологии географического домена, по мнению автора, является весьма спорным вопросом, многом зависящим от реальных условий и взглядов разработчиков и пользователей.

5. Примеры исследований и разработки онтологий для городов.

По доступным данным, в настоящее время имеется ряд современных

разработок в области онтологий для городов и городского планирования. Большинство из них представляют собой теоретические работы.

5.1. Проект COST21 «Towntology» [10], (Шестая Рабочая Программа научных исследований ЕС, в проекте участвуют ученые нескольких исследовательских центров различных европейских стран (Р.Лаурини, Ж. Теллер, К.Руссо и др.)) Проект посвящен созданию онтологических баз знаний о городе, транспорте, уличной сети и структуре управления развитием города. Главной целью является участие в лучшем осуществлении коммуникаций и большей интероперабельности при принятии решений в урбанистической сфере. Этапы проекта:

- представление и интеграция знания в урбанистической онтологии из разных источников (геоинформационные системы, официальные планы и др.);

- визуализация и представление этого знания внутри трехмерной модели города.

В настоящее время на первом этапе разработана собственная программная оболочка - редактор онтологий на языке Java, позволяющая работать с онтологиями в формате .xml (рис. 1).

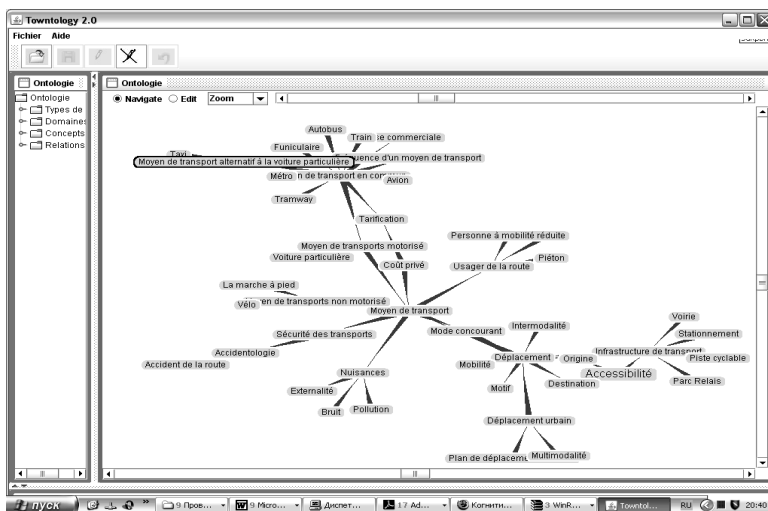


Рис.1 Вид программной оболочки Towntology 2.0 с концептуальной схемой онтологии городского транспорта в виде ориентированного графа (скриншот).

Разработаны онтологии города и транспорта; как и интерфейс оболочки, они на французском языке. Задекларировано также построение базы знаний о явлении «расползания» городов (субурбанизации). Знание представлено декларативно, возможности логического вывода нет. Оболочка в принципе может служить для построения собственных пользовательских онтологий, с

внешними ссылками и комментариями, фиксацией различных доменов знаний.

5.2. Проект Urban Modeller [11] (разработчики Х.Шеверс и В.Дрогеюллер из Австралии, Исследовательский институт CSIRO). Основанная на онтологиях САПР-система планирования городской среды предназначена для планирования городской застройки и проектирования сетей (рис.2)

Разработка велась в два этапа: 1) разработка онтологий учитывающей необходимость средств визуализации, пространственных запросов и расчетов, связь с базой геоданных правового зонирования территорий (*надо полагать, онтологий приложений – О.Д*); 2) разработка приложений, использующих эти онтологии на входе и выходе. Для системы написан встраиваемый программный код - скрипт, позволяющих описывать правила, задаваемые пользователем, которые позволяют конструировать нужную функциональность и пространственные запросы к удаленной базе пространственных данных, проверяя достижение необходимых для проектировщика условий.

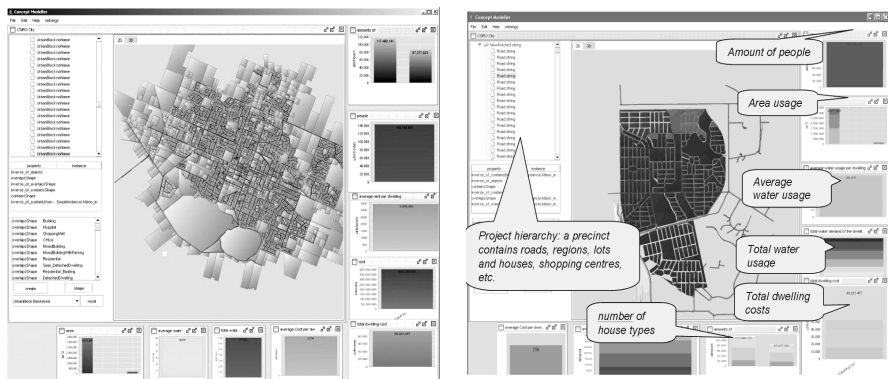


Рис. 2. Вид программной оболочки Urban Concept Modeller при проектировании жилой застройки (из [11])

5.3. В США, в университете штата Иллинойс разрабатывались онтологии для информационных систем поддержки принятия решений в землепользовании и планировании развития территорий (Нихил Каза и Льюис Хопкинс). Как можно судить по публикациям (список литературы к [12]), на онтологическом базисе создавалась интегрированная система прогнозирования и поддержки принятия решений с использованием существующих программных пакетов моделирования Urbansim и LEAM. Акцент сделан на концептуализацию принимаемых решений и их тщательную категоризацию. Однако судить о практических результатах весьма сложно, поскольку описаний конкретных решений и используемого программного инструментария нет.

6. Выводы и направления дальнейших исследований.

По результатам проведенной исследовательской работы об использовании онтологий в контексте поддержки принятия решений в планировании развития городов сделаны следующие выводы

1. В настоящее время интегрированных систем поддержки принятия решений с использованием онтологий на уровне разработки интегрированных инструментальных приложений в мире пока не создано

2. В тоже время накоплен достаточно большой, прежде всего теоретический задел и достаточная технологическая основа для создания действительно интегрированных интеллектуальных систем поддержки принятия решений с учетом опыта разработки и реализации отдельных методов и приложений, однако требуется разработанная прикладная методология. Возможности прямой генерации программного кода приложений и процедур баз данных из построенных онтологий пока невелики.

3. Серьезным препятствием по-прежнему остается отсутствие учета когнитивно–психологических аспектов разработки интеллектуальных систем и построения онтологий, включая вопросы визуального восприятия, адекватного проектирования интерфейсов пользователей, реальных моделей знаний и представления пространственной информации у лиц, принимающих решения, экспертов и пользователей (рис. 3).

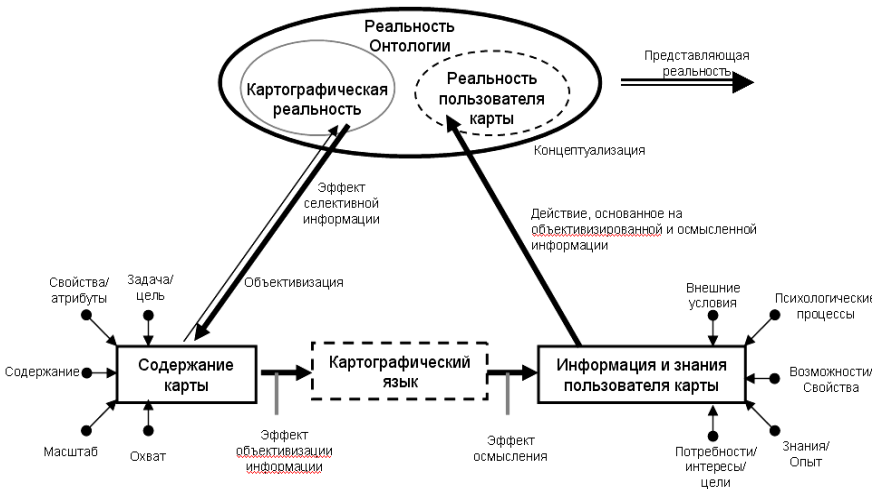


Рис 3. Информационное взаимодействие и связь между картографическими данными, изображением (образом) и представлениями пользователя о географическом пространстве с учетом его знаний и информации (поThomson M. К. и Béra R.[13])

4. Отсутствие средств прямой интеграции различных приложений, особенно связывающих геоданные, онтологии и модули отдельных задач (прогнозное моделирование, планирование, процедуры вывода, построения сценариев) затрудняет разработку систем поддержки принятия решений в сис-

темах управления развитием городов, делая разработку каждый раз уникальной задачей.

Направления дальнейших исследований по рассматриваемым проблемам, по мнению автора, наиболее перспективны в области построения унифицированных онтологий таких задач, как планирование управления (с учетом пространственного контекста города и контекста управленческих мер и политики), оценивание вариантов развития и проектно-плановых решений с построением системы определения и проверки критериев, а на обозримую перспективу – разработка формализованных моделей генерирования проектных вариантов развития и выбора и оценки стратегий планируемых действий на базе различных человеко-машинных процедур.

1. Дембовский О. Ю. Концептуальное моделирование и когнитивные препятствия на ранних стадиях разработки интеллектуальных информационных систем. // Системный анализ та інформаційні технології: Матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції студентів аспірантів та молодих науковців (13-16 вересня 2006 р., Київ). – К.: НТУУ «КПІ», 2006.
2. Клещев А.С. Шалфеева Е.А. Классификация свойств онтологий. Онтологии и их классификация. // Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН. – Владивосток, 2005. – 19 с.
3. Ильина Е.П. Задачи и методы аналитического сопровождения экспертиз в партиципативных процессах стратегического управления. // Проблемы программирования. – 2006. – № 2–3. – С. 421–430.
4. Smith B. Ontology. // In: L. Floridi (ed.), Blackwell Guide to the Philosophy of Computing and Information, Oxford: Blackwell, 2003, pp. 155–166.
5. Gómez-Pérez A., Fernández-López M., Corcho O. Ontological Engineering: With Examples from the Areas of Knowledge Management, E-commerce and the Semantic Web: – London, Springer Verlag, 2004. – 401 p.
6. Guarino N. Formal Ontology and Information Systems. // Proc. of FOIS'98, Trento, Italy, 6-8 June 1998. – Amsterdam, IOS Press, pp. 3-15.
7. Smith B. An Introduction to Ontology. in: Pequet D., Smith B., and Brogaard B. (Ed.), *The Ontology of Fields*: NCGIA, Bar Harbor, ME. – 1998. – pp. 10-14.
8. Найханова Л.В. Основные аспекты построения онтологий верхнего уровня и предметной области. // В сборнике научных статей "Интернет-порталы: содержание и технологии". Выпуск 3. / Редкол.: А.Н. Тихонов (пред.) и др.; ФГУ ГНИИ ИТТ "Информика". - М.: Просвещение, 2005. - С. 452-479.
9. Валькман Ю. Р., Дембовский О. Ю. Моделирование развития города: о структуре предметной области. // Зб. наук. пр. ПІМЕ НАН України. – К.: 2005. – Вип.31. – С. 108-115.
10. COST 21 Action - www.towntology.net
11. Schevers, H., Drogemuller, R., Ontology Driven Concept Modeller for Urban Development, Ausweb-06 Conference, Noosa Heads, Australia, 2006 – <http://ausweb.scu.edu.au/aw06/papers/refereed/schevers/paper.html>
12. Kaza N., Hopkins L. D. Ontology for Land Development Decisions and Plans”// in Jacques Teller, Catherine Roussey, and John Lee, eds., *Ontologies for Urban Development*, Berlin: Springer-Verlag, 2007, pp. 47-59.

13. Thomson M. K., Béra R. Relating Land Use to the Landscape Character: Toward an Ontological Inference Tool. In Winstanley, A. C. (Ed.): *Proceedings of GIS Research UK Conference, GISRUK'07*. Maynooth, Ireland, 11-13 April 2007, pp. 83-87