

Академик НАН Украины Г. Г. Пивняк, Б. С. Бусыгин,
Г. М. Коротенко

Развитие, иерархия и взаимодействие геоинформационных моделей в структуре наук о Земле

The systematic approaches to the organization of a structure of the many-level processes of standardization of a simulation and a use of the geospatial information are considered and generalized. The sequence of stages and elements underlying the development, construction, and use of models of the geospatial data in geoscience and in various applications is analyzed.

Научные и технологические инновации в сферах информационных технологий (ИТ) продолжают инициировать прогрессирующие темпы развития геоинформационных систем (ГИС) и специфичных для них технологий (ГИС-технологий). В триаде данные — информация — знания пространственная компонента приобретает все более существенную роль.

Естественным развитием процесса интеграции географической и атрибутивной информации с ИТ является разработка техническим комитетом ISO/TC 211 гармонизированной системы стандартов, направленных на совершенствование организации сбора, накопления, анализа, унифицированного доступа, представления и передачи геопространственной информации в цифровой форме между различными пользователями, системами и адресатами. Назначение эталонной модели (Reference Model) ISO/TC 211 (систематизированной в более чем сорока документах серии ISO 19 100 [1]) состоит в локализации основных элементов географической информации, являющихся предметом стандартизации и представлении взаимосвязи между разработанными и разрабатываемыми стандартами (рис. 1). В структуре разнообразных целей и задач, ставящихся и решаемых в вышеуказанных документах, особняком стоит задача обобщения данных в соответствии с многочисленными, разноплановыми моделями различных предметных областей, трансформация данных на различных уровнях иерархии взаимодействия моделей, а также манипуляции с данными при их накоплении и использовании [2, 3].

Анализ последних достижений. Понятно, что географические объекты обладают значительно более сложным комплексом информационных компонент по сравнению с непространственными. Это и отражается в эталонных моделях (reference models), разработанных в функциональных стандартах, актуальных для различных областей применения ГИС. Среди наиболее известных функциональных стандартов представления геопространственных данных для решения различных задач следует выделить [4]:

- DIGEST (Военная геодезия, НАТО. Завершен в середине 1980-х);
- BURF/GRIB (Метеорология, NOAA/WMO. Завершен в конце 1980-х);
- SDTS (Национальная стандартизация в геодезии США, FGDC/USGS. Завершен в конце 1980-х);
- GDF (Моделирование дорожного движения в информационных системах, CEN. Завершен в начале 1990-х);
- S-57 (Геодезия, ИНО. Завершен в начале 1990-х);
- SAIF (Моделирование проблем лесного хозяйства в информационных системах, BC ME, Canada. Завершен в начале 1990-х);

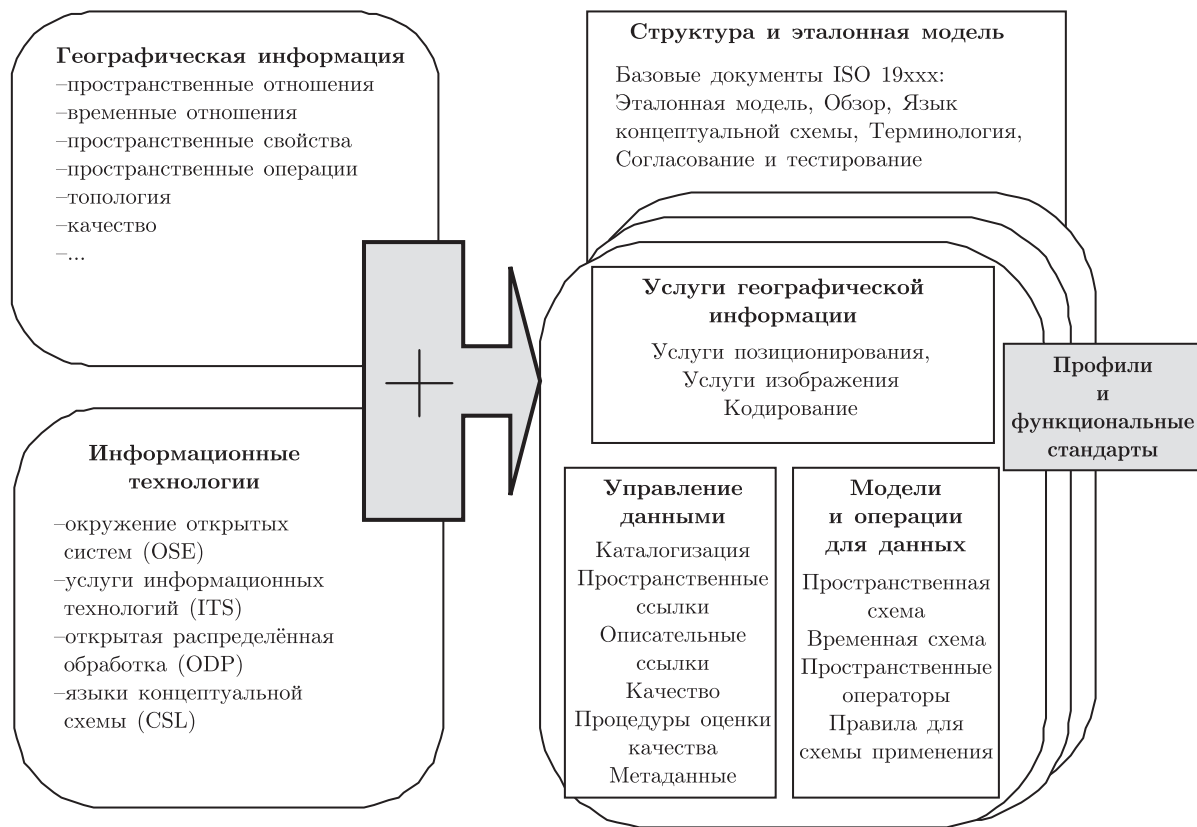


Рис. 1. Схема процесса интеграции географической информации и ИТ, структурированного в стандартах ISO 19 100

SQL-3/MM (Геоматика, базы данных, мультимедиа, ISO/IEC. Завершен в середине 1990-х);

Ericentre (Моделирование проблем нефтяной промышленности, POSC. Завершен в середине 1990-х);

ISO/TC211 (Международная стандартизация моделирования проблем геодезии в информационных системах, ISO. Завершен в конце 1990-х);

OGIS (Промышленная стандартизация де-факто проблем картографии в ГИС, OGC. Завершен в конце 1990-х);

Основная направленность данных стандартов состоит в определении, описании и управлении географической информацией (рис. 2) для обеспечения необходимых географических служб (сервисов). Это позволяет стандартизировать использование цифровых географических данных разрабатываемыми и существующими приложениями. Следует отметить, что языком концептуальных схем описания взаимосвязи структурных составляющих географических элементов и их моделей в большинстве указанных функциональных стандартов является язык синтропии [5], замененный в дальнейшем на язык UML [6].

Разрабатываемые под эгидой ISO стандарты дали толчок к созданию целой группы международных и национальных документов, в которых унифицируются модели стандартизации структуры и взаимодействия сложных геоинформационных и информационных составляющих, а также методологии их использования [2, 3]. Разработчики ГИС уже активно используют не только систему организации разнообразных пространственных данных,



Рис. 2. Общая модель описания географической информации

но и систему открытых абстрактных спецификаций, описывающих особенности реализации алгоритмов их обработки в структуре моделей разного назначения [7–10]:

Эталонная модель цифровой Земли (The new Digital Earth Reference Model (DERM) [7], NASA, USA. Представлена в 2001 г.);

Географическая информация — эталонная модель (ISO 19101 : 2002 “Geographic information — Reference model” [8], ISO. Представлена в 2002 г.);

Геопространственная интероперабельная эталонная модель (A Geospatial Interoperability Reference Model (G. I. R. M.) [9], FGDC, USA. Представлена в 2003 г.);

Эталонная модель OGC (OGC Reference Model (ORM) [10], Open Geospatial Consortium Inc. Представлена в 2003 г.).

Вместе с тем одной из ключевых продолжает оставаться проблема построения, хранения и использования геопространственных моделей данных, а также анализа их средствами геоинформационных систем. Это тем более важно, что в структуре групп лиц, участвующих в накоплении и использовании географической информации происходят существенные изменения. Сформировалась новая общность поставщиков (провайдеров) пространственных данных: провайдеры данных (data provider), провайдеры контента (content provider), провайдеры информации (information provider) и провайдеры сервисов (service provider). Приложения и сервисы, осуществляющие обработку географических данных, встраиваются во все большее число различных устройств: бортовые системы автомобилей, справочные системы для населения, мобильные персональные компьютеры (ПК) и мобильные телефоны. Таким образом, в сферу использования географических данных вовлекается все новые и новые группы не только специалистов, но и пользователей, которые манипулируют пространственным контентом в разных контекстах и в структуре разноуровневых моделей представления, хранения и отображения географических данных средствами ГИС.

Целью нашей работы является рассмотрение и обобщение систематических подходов к организации структуры многоуровневых процессов стандартизации моделирования и использования геопространственной информации. Учитывая тот факт, что в области разработки и реализации моделей разных уровней абстракции Институт исследования систем

окружающей среды (ESRI) занимает одно из ведущих мест, ряд основополагающих терминологических понятий в данном сообщении используется в их трактовке [11].

Структуризация моделей данных. Согласно стандартам ISO 19 100 важным компонентом представления информационных и вычислительных уровней компьютерных систем является концептуальное моделирование (Conceptual modeling), представляющее собой процесс создания абстрактных описаний части окружающего мира и относящихся к ней онтологических понятий. Например, могут моделироваться такие элементы, как каналы, озера и острова. Для их записи и дальнейшего использования применяются так называемые языки концептуальных схем, которые обеспечивают семантические и синтаксические элементы для описания концептуальной модели. Кроме того, стандарты используют концептуальное моделирование не только для максимально строгого описания географической информации, но и сервисов географической информации. Подход в использовании концептуального моделирования в стандартах ISO 19 100 основывается на концепциях Эталонной модели Открытой Распределенной Обработки (Open Distributed Processing (ODP) Reference Model (RM), RM ODP, которая описана в ISO/IEC 10746-1 : 1995) и принципах, обобщенных в Средствах Моделирования Концептуальных Схем (Conceptual Schema Modeling Facilities, CSMF, описаны в ISO/IEC 14 481) [1].

Подходы к рассмотрению информационных элементов. Широко используемая в серии стандартов ISO 19 100 модель RM ODP, описывает пять подходов к рассмотрению и моделированию элементов геоинформационных технологий, к которым относятся: промышленный подход, информационный подход, вычислительный подход, проектный подход и технологический подход. Важно отметить то, что информационный и вычислительный подход в серии географических стандартов ISO 19100 имеют первостепенное значение. Промышленный подход включает рассмотрение назначения, целей создания и использования разрабатываемых ГИС. В круг организаций данного уровня входят крупные корпорации, правительственные агентства и образовательные институты. Информационный подход сосредоточен на семантических особенностях информации и обработке данных. Спецификации, разрабатываемые на основании данного подхода, подробно описывают модели информации в ГИС и определяют операции обработки, выполняемые ими. Информационный подход является важнейшим для серии стандартов ISO 19 100. Вычислительный подход относится к сфере взаимодействия между сервисами, являющимися составляющими крупных компьютерных систем. Спецификация сервиса является моделью, рассматривающей его в качестве клиента или набора других сервисов, с которыми взаимодействует данный сервис. Вычислительный подход является вторым важнейшим подходом к рассмотрению взаимодействующих компонентов в стандартах ISO 19 100. Проектный подход обеспечивает рассмотрение процессов проектирования приложений в распределенных, сетевых вычислительных системах, поддерживаемых спецификациями, разрабатываемых на основе использования информационного и вычислительного подходов. Технологический подход включает рассмотрение базовой инфраструктуры программных и аппаратных компонентов, в которой взаимодействуют сервисы.

При решении прикладных задач с использованием ГИС, основной и первостепенной задачей является создание модели данных в структуре используемых целевых компьютерной и программной систем. Наиболее полно их структура и взаимодействие описаны в базовой информационной модели OpenGIS. Здесь геопространственные информационные сущности представляются на уровне описательных компонентов и на уровне исходных данных в следующих моделях [10].

Simple Feature Model (Модель простых элементов — общая, описательная модель средств представления объектов Земной поверхности векторными объектами, т. е. точками, линиями и полигонами).

Coverage Model (Модель покрытий — основная модель для представления информации о Земле в виде растровых или сеточных покрытий, т. е. модели изображений или цифровых моделей местности).

Observation Model (Модель наблюдений — основная модель для представления исследуемых объектов Земной поверхности).

Location Organizer Folder (LOF) (Контейнер для сбора адресных данных — общая, интегрированная, информационная модель контейнера, содержащего пространственно-временную информацию из разных источников, включающую изображения, карты, географические элементы, аудио- и видеоданные и т. д.).

Registry Model (Модель регистрации — общая модель для онлайн-регистрации пространственных данных).

Service Model (Модель сервисов — общая модель онлайн-сервисов).

Sensor Model (Модель сенсоров — общая модель для описания известных датчиков исследования Земли).

Data Catalog Model (Модель каталогов данных — общая модель описания каталогов данных, принадлежащих крупным промышленным хранилищам данных).

Dictionary Model (Модель словарей — общая модель для представления онлайн-словарей, составленных по общим схемам классификации).

Directory Model (Модель каталогов — общая модель для представления онлайн-систематизированных каталогов, например, Yellow Pages).

Gazetteer Model (Модель географических справочников — общая модель для представления интерактивных систематизированных географических справочников, например, географический справочник NIMA).

Учитывая тот факт, что большинство вышеуказанных моделей в той или иной степени реализуются средствами развитых ГИС, представляет интерес представить возможный характер взаимодействия элементов информационной модели в виде конкретного профиля¹. Поскольку фундаментальными структурами описания пространственных элементов являются векторные и растровые данные, все ГИС строятся на основе формальных моделей, описывающих размещение в пространстве объектов, полей и процессов [11]. Следует отметить, что при рассмотрении пространственных явлений под объектами понимаются сущности, имеющие четко очерченные границы. Поле представляет собой пространство, в каждой точке которого имеет место определенное значение некоторой физической величины, зафиксированной в определенный момент времени. Таким образом, событие, происходящее с некоторой материальной частицей, определяется тремя координатами этой частицы и моментом времени, когда происходит событие [12]:

$$z_f = f(x, y, z, t).$$

¹Профиль (*Profile*) — совокупность одного или нескольких базовых стандартов, а также выбранных предложений, классов, опций и параметров, чьи базовые стандарты необходимы для выполнения специфических или конкретных функций. К базовым стандартам относятся все стандарты ISO/TC 211 или любой другой стандарт в сфере ИТ, который может служить источником компонент, из которых могут быть построены профили или спецификации продукта [ISO/IEC 10000-1].

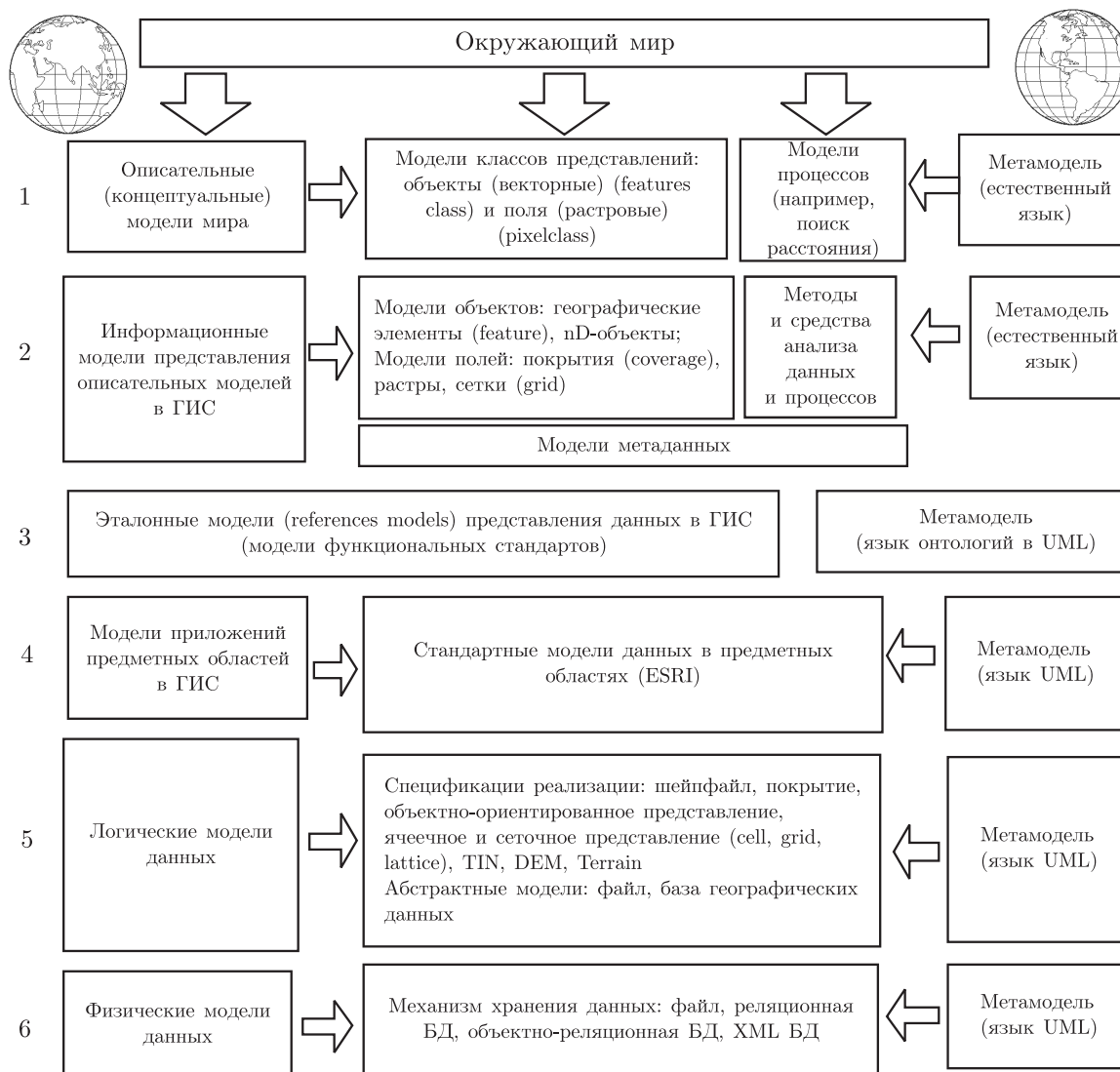


Рис. 3. Общая архитектура представления моделей пространственных данных в геоинформационных системах nD-объекты — 0D-точка, 1D-линия, 2D-полигон, 3D-объемные тела (TIN, DEM и др.)

Модели представления являются средством описания объектов на местности, таких, как здания, возвышенности или леса. Одним из способов создания моделей представления в ГИС является проектирование и реализация наборов растровых слоев данных, которые обычно представляются прямоугольными ячейками (клетками) или сетками (grid cell).

Модели процессов предназначены для описания взаимодействия объектов, реализуемых в моделях представления и поэтому моделирование процессов часто относят к картографическому моделированию [13, 14].

С учетом всего вышесказанного на рис. 3 представлен один из обобщенных подходов (профилей) представления концептуальной трансформации и взаимодействия компонентов пространственных объектов в геоинформационных системах на современном этапе. Языки концептуальных схем здесь представляются метаязыками, являющимися средствами описания метамоделей [6].

Обычно профили, создаваемые для решения определенной задачи отражаются в эталонных моделях (reference models), разработанных в функциональных стандартах, актуальных для различных областей применения ГИС [7–10]. Их основная направленность состоит в определении, описании и управлении географической информацией для обеспечения необходимых географических служб (сервисов). Это позволяет стандартизировать использование цифровых географических данных разрабатываемыми и существующими приложениями с использованием объектного подхода [5, 6]. С использованием данного подхода, при участии государственных, научных и коммерческих организаций мирового сообщества разработан целый ряд обобщенных объектных моделей (табл. 1).

Каждая из этих обобщенных моделей обладает собственной понятийной базой для описания и объяснения географической информации. Поэтому, представляя в ГИС географические объекты, требуется решать какую из моделей целесообразнее использовать. Вместе с тем важным фактом представляется то, что на данном этапе развития ГИС усилиями информационного сообщества разработаны и готовы для применения геоинформационные модели, описывающие предметные области, соответствующие большинству наиболее приоритетных наук о Земле — геологии, гидрогеологии, экологии и ряде других.

Таким образом, рассмотрены, проанализированы и обобщены систематические подходы к организации структуры многоуровневых процессов стандартизации моделирования и использования геопространственной информации;

рассмотрено взаимодействие моделей в структуре существующих стандартов, предназначенных для моделирования и эффективной обработки геопространственных данных средствами ИТ;

на основе стандартов ISO/TC211, OpenGIS (OGC) и других функциональных стандартов систематизирован один из возможных профилей (profile) структурирования информационных моделей для решения некоторых прикладных задач средствами ГИС;

увеличение объема документации, разрабатываемой организациями разных уровней для стандартизации процессов обработки геопространственной информации, существенное повышение уровня абстрактности представляемых в ней понятий, а также сложность доступа ко многим, входящим в ее структуру документам, затрудняет освоение ее широкими кругами пользователей. При этом, часть основополагающих стандартов доступна только

Таблица 1. Обобщенные объектные модели предметных областей

Address — Адреса	Agriculture — Сельское хозяйство
Archiving — Архивирование	Atmospheric — Метеорологические модели
Basemap — Базисная карта	Biodiversity — Биологическое разнообразие
Census-Administrative Boundaries — Границы административной переписи	Water Utilities — Коммуникации и оборудование системы водоснабжения
Energy Utilities — Энергетические ресурсы (водоснабжение, теплоснабжение, энергоснабжение)	Environmental Regulated Facilities — Средства управления окружающей средой
Forestry — Лесное хозяйство	Geology — Геология
GIS for the Nation — ГИС для государства	Groundwater — Подземные воды
Health — Здравоохранение	Historic Preservation and Archaeology — Исторические заповедники и археология
Homeland Security — Безопасность страны	Hydro — Гидрогеология
Land Parcels — Земельные участки	Local Government — Местное управление
Marine — Морская модель	National Cadastre — Национальный кадастр
Petroleum — Нефтяные месторождения	Pipeline — Трубопроводы
Transportation — Транспортные коммуникации	Telecommunications — Телекоммуникации

участникам групп разработки, а другая часть распространяется среди пользователей на платной основе. В частности, только один стандарт ISO 19101 : 2002 “Geographic information – Reference model”, на 12.03.2006 г. распространяется в Интернете по цене 122 долл. Если учесть, что в группе стандартов ISO–19100 на настоящее время насчитывается более 40 документов, то данные материалы будут освоены не скоро;

очевидно, необходимо предпринять ряд мер, в том числе и на уровне государства, по внедрению современных стандартизированных подходов по использованию геопространственной информации не только в процессе обучения, но и в процессе ее использования.

1. ISO – 19100 “Geographic information / Geomatics”. WEB-сайт (Электронн. ресурс) / Способ доступа: URL: [http:// www.agi.org.uk/bfora/systems/xmlviewer](http://www.agi.org.uk/bfora/systems/xmlviewer).
2. Карпінський Ю. О., Лященко А. А., Волчко Є. П. Стандартизація географічної інформації: Міжнародний досвід та шляхи розвитку в Україні // Вісн. геодезії та картографії. – 2002. – № 3. – (26). – С. 32–38.
3. Бусыгин Б. С., Коротенко Г. М. Стандартизация и ГИС. Состояние и пути развития // Сб. науч. тр. – Нац. горн. академия Украины. – 2001. – 1, № 12. – С. 5–17.
4. Albrecht J. Towards interoperable geo-information standards: A comparison of reference models for geospatial information // The Annals of Regional Science. – Berlin: Springer, 1999. – P. 151–169.
5. Cook S., Daniels J. Designing objects systems: object-oriented modeling with syntropy. – New York: Prentice Hall, 1994. – 389 p.
6. Рамбо Дж., Якобсон А., Буч Г. UML: Спец. справочник. – Санкт-Петербург: Питер, 2002. – 656 с.
7. The new digital Earth reference model. 2001. – 14 p. WEB-сайт (Электронн. ресурс) / Способ доступа: URL: [http:// www.digitalearth.gov/derm/v05/](http://www.digitalearth.gov/derm/v05/).
8. ISO 19101: 2002. – “Geographic information – Reference model”. WEB-сайт (Электронн. ресурс) / Способ доступа: URL: [http:// www. agi. org. uk/bfora/systems/xmlviewer](http://www.agi.org.uk/bfora/systems/xmlviewer).
9. A Geospatial interoperability reference model (G. I. R. M.). FGDC. 2003. – 27 p. WEB-сайт (Электронн. ресурс) / Способ доступа: URL: <http://gai.fgdc.gov/girm/v1.0/>.
10. OGC Reference model. Open Geospatial Consortium Inc. 2003. – 108 p. WEB-сайт (Электронн. ресурс) / Способ доступа: URL: [http:// www. opengis. org/](http://www.opengis.org/).
11. Data models introduction. WEB-сайт (Электронн. ресурс) / Способ доступа: URL: <http://support.esri.com/datamodels>.
12. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика. – Т. 2: Теория поля. – Москва: Гос. изд-во физ-мат. лит-ры, 1960. – 400 с.
13. Зейлер М. Моделирование нашего мира: Руководство ESRI по проектированию базы геоданных. – Москва: Изд-во DATA+, 1999. – 254 с.
14. Митчелл Э. Руководство ESRI по ГИС анализу. Т. 1: Географические закономерности и взаимодействия. – Москва: Изд-во DATA+, 1999. – 190 с.

Национальный горный университет,
Днепропетровск

Поступило в редакцию 25.01.2007