Метод многоаспектного геоинформационного моделирования географического района

Method of multidimensional geoinformation modeling of a geographic area

Верхова / Verkhova G.
Галина Викторовна
(galina500@inbox.ru)
доктор технических наук, профессор, заслуженный работник связи и информации РФ.
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций имени профессора М. А. Бонч-Бруевича»
(СПбГУТ им. проф. М. А. Бонч-Бруевича),
заведующая кафедрой интеллектуальных систем автоматизации и управления.
г. Санкт-Петербург

Акимов / Akimov S.
Сергей Викторович
(akimov-sv@yandex.ru)
кандидат технических наук, доцент.
СПбГУТ им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
доцент кафедры интеллектуальных систем автоматизации и управления.
г. Санкт-Петербург

Присяжнюк / Prisyazhnyuk A.
Андрей Сергеевич
(a-prisyaznyuk@inbox.ru)
кандидат технических наук.
ЗАО «Институт телекоммуникаций»,
исполнительный директор.
г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: многоаспектное геоинформационное моделирование – multidimensional geoinformation modeling; географический район – multidimensional geoinformation modeling; геоинформационная киберсреда – geoinformation cyber environment; районно-ориентированная навигация – area-oriented navigation; комплексная модель – integrated model; цифровой двойник – digital twin.

Представлен метод многоаспектного геоинформационного моделирования географического района (региона, территории), который позволяет создать иерархическую систему цифровых двойников географических территорий. В модель географического района заносится лишь та информация, которая определяет его как систему, остальная информация импортируется из геоинформационных систем и сред многоаспектного моделирования путем внедрения ссылок, что обеспечивает целостность и актуальность информации.

A method of multidimensional geoinformation modeling of a geographical area (region, territory) is presented, which allows creating a hierarchical system of digital twins of geographical territories. The geographic area model contains only the information that defines it as a system. The rest of the information is imported from geographic information systems and multidimensional modeling environments by embedding links. This ensures the integrity and relevance of the information.

Введение

Представление актуальной информации о географических районах (регионах, территориях) является важной задачей. Такая информация необходима для планирования экономического развития отдельных регионов и государства в целом; выработки и реализации государственной политики в области гражданской обороны, защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, обеспечения пожарной безопасности; выработки и проведения государственной политики в области обороны [1–6]. Совершенствование методов сбора, обработки и представления гетерогенной информации о географическом районе является необходимым условием для развития топогеодезического и навигационного обеспечения государственных структур Российской Федерации.

Современные геоинформационные системы (ГИС) обладают развитыми средствами создания и управления электронными картами, обеспечивая возможность нанесения метрической и семантической информации на отдельные слои [7–10]. Наиболее развитые ГИС позволяют интегрировать модели пространственно-распределенных объектов, полученных с помощью фотограмметрии [11, 12], а также внедрять цифровые двойники [13, 14]. Несмотря на достижения в технологиях современных ГИС, средства работы с отдельными географическими районами (регионами,

территориями) как с отдельными объектами в них развиты слабо. Учитывая важность представления актуальной гетерогенной информации о географическом районе для решения ряда важнейших государственных задач, разработка методов многоаспектного моделирования географического района (региона, территории) не вызывает сомнений.

Целью статьи является изложение результатов научных исследований в области интеграции гетерогенной информации о географическом районе (регионе, территории) на базе многоаспектных геоинформационных моделей. Предложенный метод многоаспектного геоинформационного моделирования позволяет создать иерархическую систему цифровых двойников географических территорий, в совокупности покрывающих всю планету.

Предложенный метод многоаспектного геоинформационного моделирования географического района отличается тем, что в модель географического района заносится лишь та информация, которая определяет географический район как систему, остальная информация импортируется из геоинформационных систем и сред многоаспектного моделирования путем внедрения ссылок, что обеспечивает целостность и актуальность информации.

Методология многоаспектного моделирования

Метод многоаспектного геоинформационного моделирования географического района базируется на методологии многоаспектного геоинформационного моделирования, основанием которой является общая методология многоаспектного моделирования (рис. 1). Многоаспектные модели обеспечивают системное представление гетерогенных знаний как об отдельном объекте, так и о классе объектов моделирования [15, 16]. Многоаспектное моделирование может быть выполнено с помощью комплексных и интегративных моделей.

Комплексная модель описывает класс объектов на уровне системных аспектов и отдельно взятый объект на уровне всех аспектов, подлежащих рассмотрению и для которых имеются обеспечивающие их формализмы. Комплексная модель призвана объединить множество математических и компьютерных моделей, представляющих различные аспекты объектов, в единое целое. Комплексные модели не подменяют другие типы моделей (на основе уравнений математической физики, имитационные, статистические модели), они являются своеобразной надстройкой над ними.

Интегративная модель представляет собой оптимизационную многокритериальную модель со структурно-параметрическим управлением. Интегративная модель является наиболее полной моделью некоторого класса объектов, которая содержит механизмы формализованного представления технико-эконоаических требований, интенсионально заданное множество структурно-параметрических решений, методы вычисления всех интересующих характеристик объекта, а также алгоритмы решения многокритериальной оптимизационной задачи.

Многоаспектная геоинформационная модель географического района

Многоаспектная геоинформационная модель географического района (CXM_A) обеспечивает системное представление гетерогенной информации о географическом районе, связи с многоаспектными геоинформационными моделями других районов, связанных с данным районом, природных и антропогенных объектов, а также управление информацией, содержащейся в данной модели (рис. 2):

$$CXM_A = Rel_A, GI, P, CXM_{GIO}, Mech, I, \quad (1)$$

где Rel_A – многоаспектные геоинформационные модели районов, связанных с моделируемым районом;

Рис. 1. Методологические основания многоаспектного геоинформационного моделирования географического района (региона, территории)

GI – гетерогенная информация о районе, представленная с помощью методологии многоаспектного моделирования;

P – параметры района, представленные с помощью формализма параметрических многоаспектных моделей;

CXM_{GIO} – многоаспектные геоинформационные модели объектов;

Mech – механизмы управления информацией, содержащейся в многоаспектной геоинформационной модели района;

I – интерфейсы, обеспечивающие интеграцию в единое информационное пространство.

Множество многоаспектных геоинформационных моделей районов, связанных с моделируемым районом, включает в себя модель родительского района, в который входит данный район, модели дочерних районов, являющихся для текущего района подрайонами, и модели соседних районов, граничащих с данным районом:

$$Rel_A = P_A, \left\{ \bigcup_{i=1}^{n} Sub_A(i) \right\}, \left\{ \bigcup_{j=1}^{m} Sibs_A(j) \right\} \quad (2)$$

где P_A – многоаспектная модель родительского района;

Sub_A – многоаспектная модель дочернего района;

$Sibs_A$ – многоаспектная модель соседнего района.

Связь с многоаспектными геоинформационными моделями географических районов осуществляется с помощью механизма ссылок (рис. 3). Для того, чтобы создать замкнутую иерархическую структуру, для максимально крупных географических районов в качестве родительского района выступает вся поверхность Земли. Отдельные географические районы могут не иметь дочерних районов. Представление географических районов в виде иерархической структуры обеспечит удобную районно-ориентированную навигацию.

Гетерогенная информация (*GI*) включает в себя семантическую (*SI*) и метрическую (*MI*) информацию о районе:

$$GI = \langle SI, MI \rangle \quad (3)$$

Метрическая информация, представленная в многоаспектной геоинформационной модели, в первую очередь, определяет контур моделируемого района. По данной информации определяется прямоугольник, в который вписан моделируемый район (4), центральная точка района (5), а также набор номенклатурных листов, покрывающих данный район (6). Данные методы

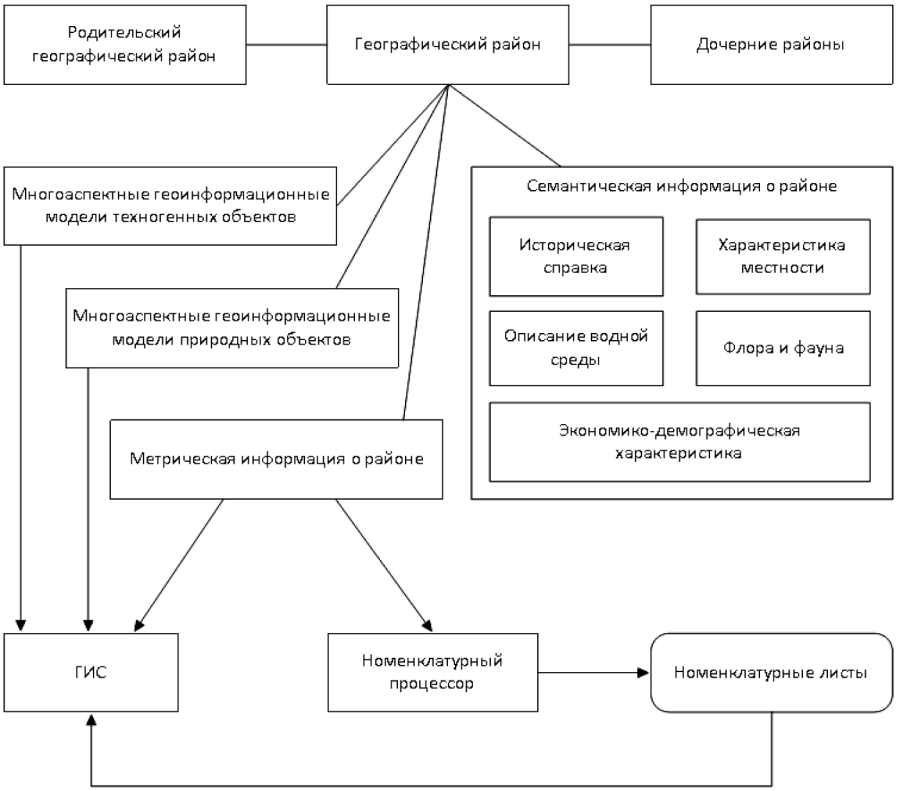

Рис. 2. Структура многоаспектной геоинформационной модели географического района

входят в состав механизма управления информацией, содержащейся в многоаспектной геоинформационной модели района (1).

Функция определения прямоугольника ($Rect_A$), в который вписан моделируемый район:

$$Rect_A = f_{rect}\left(Cont_A\right) \quad (4)$$

где $Cont_A$ – контур границы географического района.

Функция определения центральной точки географического района ($Center_A$):

$$Center_A = f_{cent}\left(Cont_A\right) \quad (5)$$

Функция определения множества номенклатурных листов заданного масштаба, покрывающих площадь моделируемого района ($NSheets_A^{Scale}$):

$$NSheets_A^{Scale} = f_{nom}\left(Cont_A, Scale\right) \quad (6)$$

Другая метрическая информация в многоаспектной геоинформационной модели района в явном виде не представлена. Данная информация может быть получена из номенклатурных листов географических карт, а также из многоаспектных геоинформационных моделей природных и антропогенных объектов, связи на которые определены в многоаспектной геоинформационной модели географического района.

Номенклатурные листы географических карт, покрывающих площадь моделируемого района, могут быть динамически загружены из геоинформационной системы или добавлены в виде ссылок на отдельные графические файлы. Многоаспектные геоинформационные модели природных и антропогенных объектов управляются отдельной средой моделирования и также интегрируются в многоаспектную геоинформационную модель географического района с помощью механизма ссылок.

Семантическая информация о географическом районе (*SI*), задается с помощью гипермедийных документов, привязанных к следующим разделам:

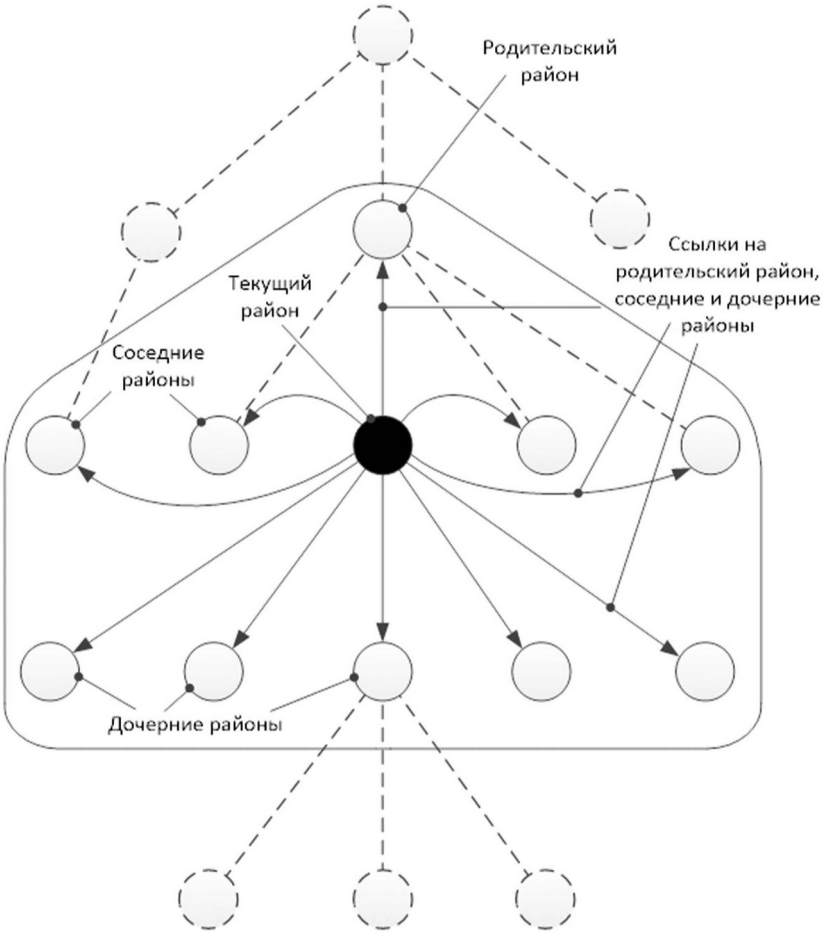

Рис. 3. Дерево географических районов

– общая характеристика района;
– историческая справка;
– характеристика местности;
– флора и фауна;
– экономико-демографическая характеристика.

При необходимости данный список может быть дополнен любыми пользовательскими разделами, отражающими требуемую характеристику моделируемого района. Каждый документ раздела может иметь несколько версий.

Параметры географического района (*P*), в отличие от семантической информации (*SI*), являющейся слабоструктурированной информацией, представляет собой структурированные данные. Параметры географического района обеспечиваются формализмом параметрических многоаспектных моделей, входящих в состав комплексных моделей, и подразделяются на первичные и вторичные параметры. Вычисление значений параметров может осуществляться с помощью различных алгоритмов, реализующих функции, аргументами которых могут выступать параметры как моделируемого района, так и дочерних районов. Таким образом, любые изменения значений параметров дочерних районов, автоматически отразятся в значениях параметров моделируемого района (рис. 3).

Множество многоаспектных геоинформационных моделей объектов, входящих в состав модели района, включает в себя многоаспектные модели природных объектов (CXM_{NO}) и многоаспектные модели антропогенных объектов (CXM_{AO}):

$$CXM_{GIO} = \langle CXM_{MO}, CXM_{MO} \rangle \quad (7)$$

Многоаспектные геоинформационные модели природных и антропогенных объектов интегрируются в многоаспектную модель географического района с помощью механизма ссылок. Многоаспектные геоинформационные модели природных и антропогенных объектов могут выступать в роли цифровых двойников, в реальном масштабе времени отражая состояние моделируемых объектов. Функционирование геоинформационных многоаспектных моделей природных и антропогенных объектов осуществляется в отдельных средах. Механизмы среды многоаспектного моделирования района обеспечивают лишь глубокую системную интеграцию этих моделей в многоаспектную геоинформационную модель района.

Формирование многоаспектной геоинформационной модели географического района

Рассмотрим последовательность формирования многоаспектной геоинформационной модели географического района.

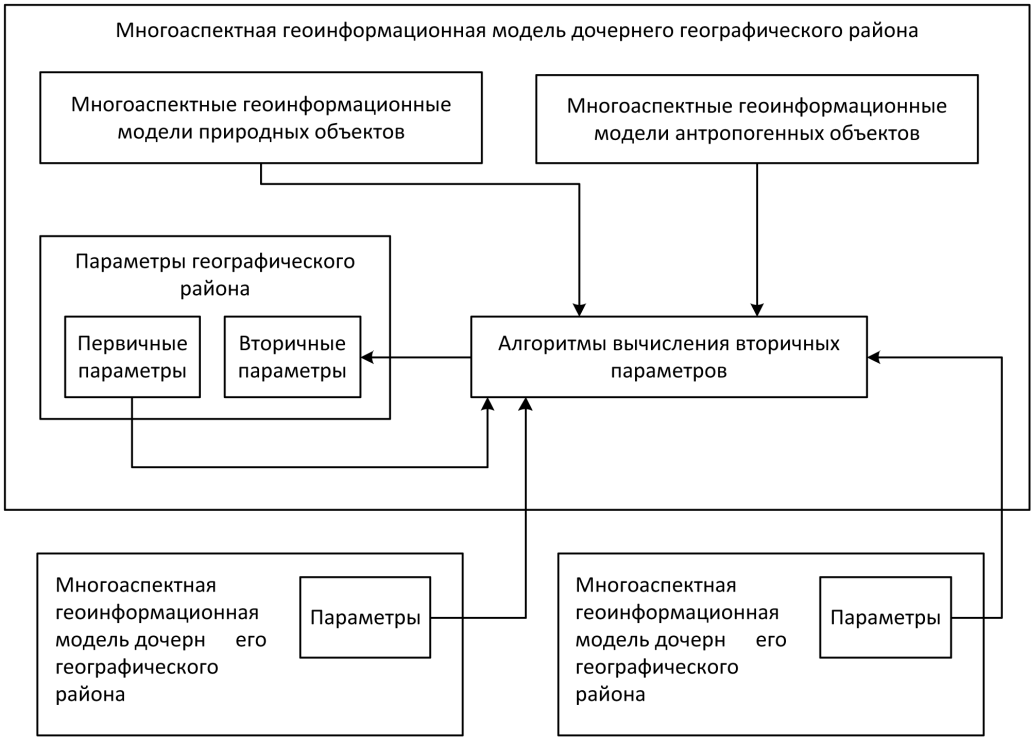

Рис. 3. Схема вычисления вторичных параметров географического района

Шаг 1. Создается проект новой многоаспектной геоинформационной модели географического района. Модель может быть создана на базе существующей модели района (новая версия модели).

Шаг 2. Задается базовая информация о географическом районе: код района (берется из справочника), код родительского района (если таковой имеется), полное и краткое название района, краткая характеристика района.

Шаг 3. Задается метрическая информация, определяющая контур (границы) моделируемого района, путем ввода геокодов отдельных точек. Вычисляются координаты вершин прямоугольника, в который вписана территория моделируемого географического района. Вычисляются координаты географического центра территории.

Шаг 4. На основании метрической информации определяются дочерние и соседние географические районы. В многоаспектной геоинформационной модели географического района регистрируются их коды и устанавливаются ссылки.

Шаг 5. На основании метрической информации осуществляется поиск многоаспектных геоинформационных моделей природных и антропогенных объектов. Ссылки на данные модели внедряются в геоинформационную модель географического района.

Шаг 6. Определяется список номенклатур листов топографических карт требуемых масштабов. В случае наличия геоинформационной системы с требуемой функциональностью осуществляется импорт номенклатурных листов в виде графических файлов. Если геоинформационная система с требуемой функциональностью отсутствует, номенклатурные листы могут быть загружены в ручном режиме. В случае интеграции среды многоаспектного геоинформационного моделирования географического района в единую геоинформационную киберсреду, а также отсутствия требования обеспечения работы в автономном режиме, номенклатурные листы могут загружаться динамически в режиме Just-in-Time.

Шаг 7. Вводится семантическая информация, оформленная в виде гипермедийных документов, привязанных к соответствующим разделам. Гипермедийные документы содержат всю необходимую информацию о регионе, представленную в наглядном виде. Данная информация вводится вручную или формируется из существующих описаний, представленных гипертекстовыми и мультимедийными документами. Для каждого раздела можно поддерживать несколько версий гипермедийных документов. При создании новой версии гипермедийного документа на базе существующего документа, все внедренные мультимедийные ресурсы являются копиями исходных ресурсов. Такой подход гарантирует целостность информации и возможность независимого редактирования мультимедийных документов в новых версиях.

Заключение

1. Метод многоаспектного геоинфомрационного моделирования географического района обеспечивает переход представления знаний о районе на качественно новый уровень, что достигается путем создания цифрового двойника географического района, допускающего глубокую интеграцию в единую геоинформационную киберсреду.

2. Цифровая среда многоаспектного геоинформационного моделирования географических районов должна обеспечивать лишь тот функционал моделирования, который имманентен данной задаче, связанной с системной интеграцией гетерогенной информации о географическом районе. Многоаспектное геоинформационное моделирование природных и антропогенных объектов должно выполняться в других специализированных средах. Управление геоинформацией, содержащейся в номенклатурных листах топографических карт и планов должно осуществляться с помощью геоинформационных систем, интегрированных в единую геоинформационную киберсреду. Данное требование обеспечит целостность и актуальность геоинформации, а также возможность создания дополнительного способа навигации по геоинформационным объектам.

3. Формирование цифровой среды многоаспектного геоинформационного моделирования географических районов, как и единой геоинформационной киберсреды, целесообразно осуществлять в виде распределенной системы с микросервисной архитектурой.

Литература

1. Зализнюк, А. Н. Метод планирования картографического обеспечения систем управления территориями / А.Н. Зализнюк, С.П. Присяжнюк // Информация и Космос. – 2016. – № 3. – С. 88–90.

2. Зализнюк, А. Н. Стратегическое планирование геоинформационного обеспечения систем управления / А.Н. Зализнюк, С.П. Присяжнюк // Информация и Космос. – 2016. – № 4. – С. 130–132.

3. Еремеев, С. В. Геоинформационная система для управления загруженностью муниципальных объектов / С.В. Еремеев, Д.Е. Андрианов, К.Д. Кокурин // Телекоммуникации. – 2015. – № 5. – С. 36–40.

4. Aicha, O. Groundwater Flooding in Urban Areas: Occurrence process, Potential Impacts and The Role Of Remote Sensing And GIS Techniques In Preventing It / O. Aicha, G. Abdessamad, J.O. Hassane // 2020 IEEE International conference of Moroccan Geomatics (Morgeo). – 2020. – P. 1–5.

5. Смагин, А. С. Решение телекоммуникационных задач с помощью трехмерных геоинформационных систем (3D-ГИС). Ч. 1. Организация отображения телекоммуникационных объектов в 3D-ГИС / А.С. Смагин, А.А. Булаев // Телекоммуникации. – 2019. – № 6. – С. 33–37.

6. Блинов, Д. С. Создание ГИС дорог на примере опыта компании «Индорсофт» при создании ГИС дорог томской области / Д.С. Блинов // САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2017. – № 2 (9). – С. 49–64.

7. Malaainine, M. I. Conception of Geocoding Matching Algorithm for Casablanca City – Morocco / M.I. Malaainine, H. Lechgar // 2020 IEEE International conference of Moroccan Geomatics (Morgeo). – 2020. – P. 1–4.

8. Зализнюк, А. Н. О новых подходах в технологиях создания электронных карт / А.Н. Зализнюк, Ю.С. Александров, С.П. Присяжнюк // Информация и Космос. – 2020. – № 4. – С. 96–99.

9. Зализнюк, А. Н. Геоинформационные объектно-ориентированные модели формирования образного мышления / А.Н. Зализнюк, Д.Е. Гоманов, С.П. Присяжнюк // Информация и Космос. – 2018. – № 4. – С. 129–134.

10. Объектно-ориентированная геопространственная информация, достоинства и недостатки при ее создании и применении / А.Н. Зализнюк [и др.] // Информация и Космос. – 2017. – № 2. – С. 102–106.

11. Wu, B. Photoclinometry and Photogrammetry Integrated Approach for Pixel-Resolution 3D Mapping and Applications in China's Lunar Landing Missions / B. Wu, W.C. Liu // IGARSS 2019 – 2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Yokohama, Japan. – 2019. – P. 5011–5012.

12. GIS-based mapping of archaeological sites with low-altitude aerial photography and structure from Motion: A case study from Southern Jordan / M.D. Howland [et al.] // 2015 Digital Heritage, Granada. – 2015. – P. 91–94.

13. Sofia, H. Mobile Mapping, Machine Learning and Digital Twin for Road Infrastructure Monitoring and Maintenance: Case Study of Mohammed VI Bridge in Morocco / H. Sofia, E. Anas, O. Fапz // IEEE International conference of Moroccan Geomatics (Morgeo), Casablanca, Morocco. – 2020. – P. 1–6.

14. Mihoković, V. Establishing the utility charges spatial database using digital twin technology / V. Mihoković, L. Zalović, V. Zalović // 43rd International Convention on Information, Communication and Electronic Technology (MIPRO), Opatija, Croatia. – 2020. – P. 437–441.

15. Акимов, С. В. Теоретические основы CALS / С.В. Акимов, Г.В. Верхова, Н.П. Меткин. – СПб.: Издательство СПбГУТ им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, 2018. – 263 с.

16. Verkhova, G. V. Multi-Aspect modeling system objects in CALS / G.V. Verkhova, S.V. Akimov // Proceedings of 2017 20th IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM 2017. – 2017. – P. 449–451.