

Параметрические геоинформационные модели

Г. В. Верхова

Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича
(СПбГУТ)

galina500@inbox.ru

С. В. Акимов

Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича
(СПбГУТ)

akimov-sv@yandex.ru

Аннотация. Представлена методология параметрических многоаспектных пространственно распределенных объектов. Предложенные модели позволяют представить атрибутивную информацию иерархических пространственно распределенных объектов и геосистем с учетом отношений между уровнями иерархии, а также значениями экспертных параметров и параметров, полученных в результате мониторинга. Другой важной особенностью параметрических геоинформационных моделей является поддержка генерализации и возможность использования для создания мультимасштабных объектов.

Ключевые слова: многоаспектные геоинформационные модели; геосистемы; пространственно распределенные объекты; атрибутивная информация; комплексные модели

I. ВВЕДЕНИЕ

Мониторинг геосистем играет важную роль в обеспечении экологической безопасности, предотвращении и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, управлении распределенными производственными системами и транспортными сетями [1–6]. Эффективное решение задач мониторинга геосистем, а также планирования природно-техногенных геосистем, требует наличия развитых средств многоаспектного логико-математического описания геосистем, на базе которых будут созданы цифровые двойники [7–9].

В процессе многоаспектного логико-математического описания геосистем необходимо иметь механизм, который позволит представить информацию об атрибутивной информации. В роли такого механизма выступает параметрическая геоинформационная модель. Целью статьи является изложение результатов исследований по созданию методологии параметрических многоаспектных моделей природных и природно-техногенных геосистем, а также любых пространственно распределенных объектов, входящих в состав геосистем.

II. РОЛЬ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ В МНОГОАСПЕКТНОМ ЛОГИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОМ ПРЕДСТАВЛЕНИИ ГЕОСИСТЕМ

Многоаспектное логико-математическое описание геосистемы предполагает исчерпывающее представление данных и знаний, которые могут представлять интерес в рамках информационной поддержки природной геосистемы на сколь угодно долгом промежутке времени, а природно-техногенной геосистемы – на

протяжении всего жизненного цикла [10–12]. Для данных целей могут быть использованы многоаспектные геоинформационные модели – комплексные и интегративные. Комплексные геоинформационные модели обеспечивают представление гетерогенной геоинформации о геосистеме, представленной с единых методологических позиций. Интегративные геоинформационные модели являются наиболее полными системологическими моделями целого класса геосистем, которые позволяют определить возможность их преобразования с использованием методов поисковой оптимизации и структурно-параметрического синтеза. Комплексные и интегративные геоинформационные модели являются результатом обобщения общесистемных моделей [13–14] на случай пространственно распределенных объектов [15].

Параметрические геоинформационные модели входят в состав комплексных моделей геосистем (рис. 1) и позволяют выполнять представление и обработку любых типов параметров геосистем. В отличие от типов данных в алгоритмических языках программирования, предназначенных для описания и представления алгоритмических структур, параметры параметрических моделей адаптированы для представления многоаспектных характеристик геосистем (табл. 1).

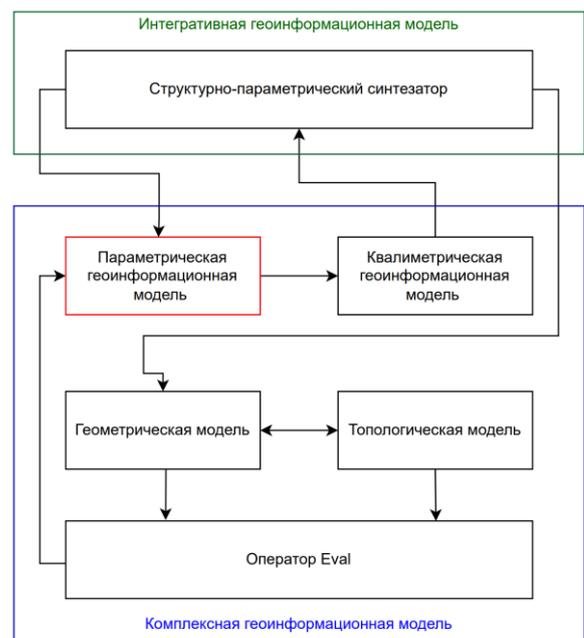


Рис. 1. Параметрическая геоинформационная модель в рамках многоаспектной модели геосистемы

ТАБЛИЦА I. СРАВНЕНИЕ ТИПОВ ДАННЫХ АЛГОРИТМИЧЕСКИХ ЯЗЫКОВ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ, ТИПОВ ДАННЫХ ЯЗЫКОВ ВЫСОКОГО УРОВНЯ, КОРТЕЖЕЙ БАЗ ДАННЫХ И ПАРАМЕТРОВ КОМПЛЕКСНЫХ МОДЕЛЕЙ

Свойство	Типы данных алгоритмических языков общего назначения	Структуры в языках высокого уровня	Кортежи в реляционных базах данных	Параметры комплексных моделей
Назначение	Представление данных в рамках любых алгоритмических структур	Представление объектов любых типов	Представление информации о сущности	Представление многоаспектных характеристик объектов
Многокритериальные поисковые запросы	Не поддерживается	Требуется создания специальных методов	В рамках созданных специальных запросов	Поддерживается
Учет совместимости	Не поддерживается	Поддерживается	Не поддерживается	Поддерживается
Информация о единицах измерения	Не поддерживается	Требуется создания специальных свойств	Требуется создания специальных полей	Поддерживается
Явное задание области определения	Не поддерживается	Требуется создания специальных методов	Поддерживается	Поддерживается
Сопряжение параметров между подсистемами, экспертными и фактическими значениями	Не поддерживается	Требуется создания специальных свойств и методов	Не поддерживается	Поддерживается

III. СТРУКТУРА ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

В общем виде параметрическую геоинформационную модель можно представить как множество первичных и вторичных (вычисляемых) параметров, отражающих отдельные аспекты геосистемы (рис. 2):

$$P = \cup P_{A(i)}, i \in 1, n,$$

где $P_{A(i)}$ – множество параметров i -го аспекта геосистемы.

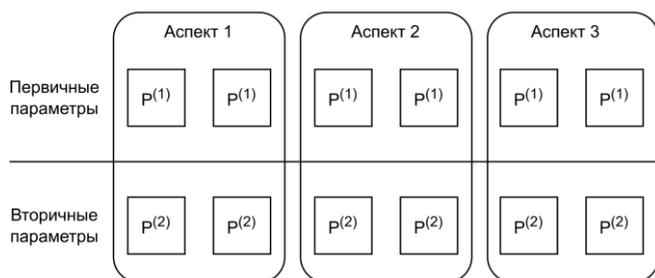


Рис. 2. Структура параметрической модели

Вычисление вторичных параметров геосистемы $P^{(2)}$ выполняется с помощью оператора $Eval$, входящего в состав комплексной геоинформационной модели, причем при вычислении $P^{(2)}$ учитываются как первичные параметры геосистемы $P^{(1)}$, так и параметры дочерних геосистем P_{sub} (если таковые имеются), а также топологические отношения между дочерними геосистемами:

$$P^{(2)} = F_{Eval}(P^{(1)}, P_{sub}, R_T).$$

Важным свойством параметрических моделей является возможность сопряжения значений параметров между:

- геосистемой и граничными условиями;
- геосистемой и подсистемами, входящими в ее состав (дочерними геосистемами);
- отдельными подсистемами, входящими в состав геосистемы;
- подсистемами и надсистемами.

Необходимость сопряжения значений параметров возникает при выполнении задач генерализации, когда значения параметров родительской геосистемы сравниваются со значениями, вычисленными на основе параметров дочерних геосистем. Примером такой задачи является актуализация информации о численности населения города, когда актуализируемая величина сравнивается с суммарной численностью населения районов. Примером другой задачи, требующей сопряжения параметров, является сравнение статистических данных экологической обстановки в регионе с результатами объективного контроля. В обоих случаях автоматически будет вычислена величина, показывающая степень расхождения значений параметра геосистемы, полученных разными способами.

С учетом реализации возможности реализации механизма сопряжения параметров, отдельно взятый параметр параметрической геоинформационной модели будет представлен в следующем виде (рис. 3):

$$P_i = \langle P_{core}, v_e, v_m, \Delta, M, C \rangle, \quad (1)$$

где:

P_i – i -й параметр параметрической геоинформационной модели;

P_{core} – ядро параметра;

v_e – экспертное (заданное) значение;

v_m – измеренное или вычисленное значение;

Δ – невязка между v_e и v_m ;

M – мера, определяющая $\Delta = f_M(v_e, v_m)$;

C – оператор сопряжения, позволяющий вычислить v_m .

В качестве примера приведем ядро вещественного параметра:

$$P_{Core} : Real = \langle name, type, V, v_{min}, v_{max}, init, dim \rangle,$$

$$type = Real,$$

$$V, v_{min}, v_{max} \in R,$$

где:

$name$ – имя параметра;

type – тип параметра;

v , v_{min} , v_{max} – текущее, минимальное и максимальное значения параметра, при этом V определяет значения v_e и v_m : $V.v_e = v_e$, $V.v_m = v_m$ в выражении (1);

init – заданное по умолчанию значение параметра;

dim – размерность параметра.

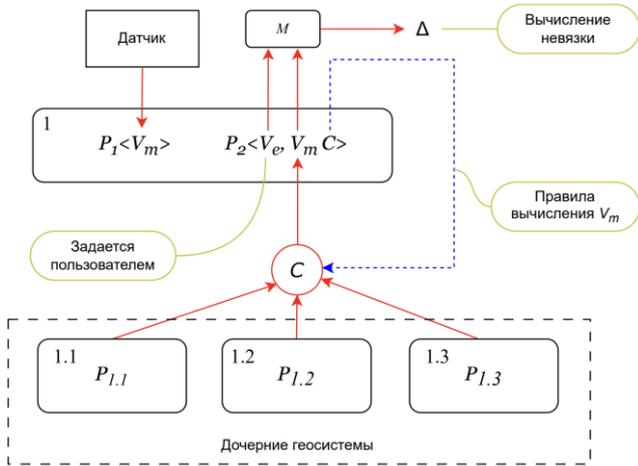


Рис. 3. Сопряжение параметров комплексных моделей

Обозначим часть выражения (1), которая непосредственно отвечает за сопряжение параметров, через P_C :

$$P_C = \langle v_e, v_m, \Delta, M, C \rangle \quad (2)$$

Тогда выражение (1) может быть записано в следующем виде:

$$P_i = \langle P_{core}, P_C \rangle \quad (3)$$

Важной особенностью комплексных геоинформационных моделей является поддержка темпоральных данных. Механизм параметрических моделей обеспечивает фиксацию значений параметра в отдельные моменты времени:

$$P_i = \langle V_{temp}, \cup V(t_i), E \rangle, i \in 1, m, \quad (4)$$

где:

P_i – параметр, поддерживающий темпоральные данные;

V_{temp} – текущее значение параметра;

$V(t_j)$ – сохраненные значения параметра в моменты времени t_j ;

E – событие, при котором выполняется фиксация текущего значения параметра V_{temp} .

В роли события $V(t_j)$ могут выступать:

- срабатывание таймера через заданные промежутки времени;
- изменения значения параметра V_{temp} на заданную величину Δ , где $|\Delta| > \Delta_{min}$ и $\Delta_{min} > 0$.

С учетом возможности сопряжения параметров и темпоральности общее выражение для параметра

многоаспектных параметрических моделей примет следующий вид:

$$P = \langle P_{Core}, P_C, P_I \rangle. \quad (5)$$

Учитывая, что значения параметров определяют состояние объекта, выражение (5) делает возможным восстановление состояния объекта на любой заданный момент или промежутки времени путем интерполяции значений параметров параметрической модели.

IV. ПРЕДСТАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ ГЕОСИСТЕМ В ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ МОДЕЛЯХ

Обобщим представление (5) на случай распределенного параметра геосистемы. На базе линейно-узловой модели (6) создадим ядро распределенного параметра, модифицировав данную модель, путем ассоциации с каждой гранью F параметра P_{Core} (7), как это показано на рис. 4.

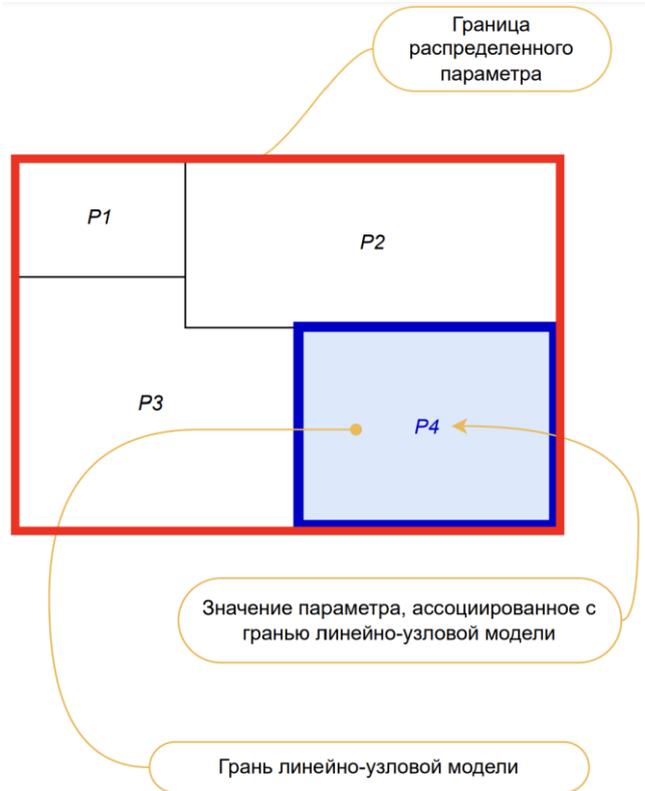


Рис. 4. Распределенный параметр на базе линейно-узловой модели

Линейно-узловая модель может быть задана в виде выражения:

$$LNT = \langle N, E, F \rangle, \quad (6)$$

где:

N – множество узлов $N_i = \langle i, x_i, y_i \rangle$, x_i, y_i – координаты узла;

E – множество дуг, связывающих узлы N ;

F – множество граней (полигонов), определяемых дугами E .

Ядро распределенного параметра, созданное на базе (6), будет представлено следующим образом:

$$P_{DisCore}(N, E, F_P), \quad (7)$$

где F_P – параметризованная грань линейно-узловой модели (6).

Исходя из (7) представление географически распределенного параметра примет вид:

$$P_{Dis} = \langle P_{DisCore}, P_C, P_I \rangle. \quad (8)$$

Выражение (8) позволяет выполнять манипуляции с распределенными параметрами, описывающими различные аспекты геосистем, включая сопряжение значений при решении задач генерализации в мультимасштабных картах, а также между экспертными и фактическими значениями, например, путем наследования дочерней геосистемой распределенного параметра родительской геосистемы (рис. 5).

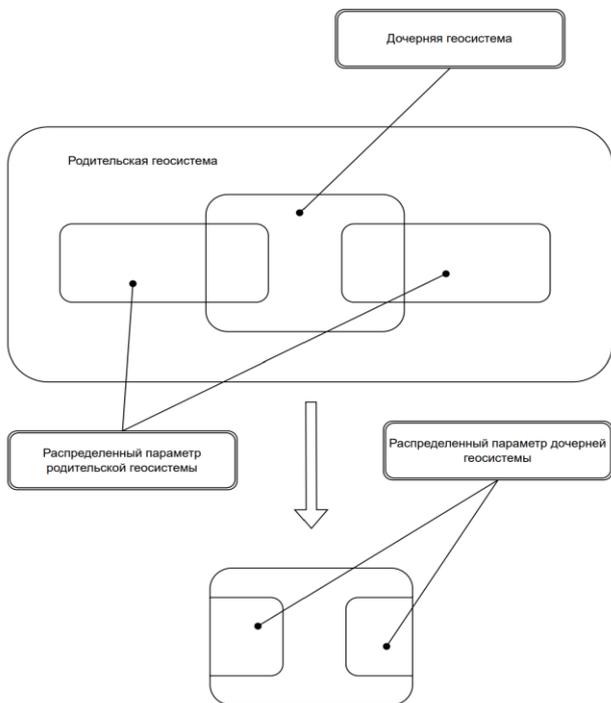


Рис. 5. Наследование дочерней геосистемой распределенного параметра родительской геосистемы

Наследование параметра дочерней геосистемой выполняется на базе оператора клипирования полигонов и создания в дочерней геосистеме параметра, имеющего значения, полученные из распределенного параметра родительской геосистемы, при этом параметр дочерней геосистемы сохраняет связь с исходным параметром.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенные в статье параметрические геоинформационные модели позволяют представить атрибутивную информацию иерархических пространственных объектов и геосистем с учетом отношений между иерархическими уровнями, а также значениями экспертных параметров и параметров, полученных в результате расчета и мониторинга. Другой важной особенностью предложенных моделей является поддержка генерализации и возможность использования для создания мультимасштабных объектов и возможность восстановления значения параметров на любой заданный момент или промежуток времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Privalov A.A., Kolesov V.A., Veremiev V. I. Decision Support System for Integrated Geo-Information Environmental Monitoring // 2023 XXVI International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM), Saint Petersburg, Russian Federation, 2023. P. 341-344 [doi: 10.1109/SCM58628.2023.10159065].
- [2] Zolotov O.I., Ilyushina A.N., Novozhilov I.M. Spatially Distributed System for Monitoring of Fields Technical Condition in Mineral Resources Sector // 2021 XXIV International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM), St. Petersburg, Russia, 2021. P. 93-95 [doi: 10.1109/SCM52931.2021.9507141].
- [3] Bogdan P.-L., Nedeff V., Barsan N., Panainte-Lehaduș M., Chitimus D., Nedeff F., Tomozei C. Applications of the GIS and Remote Sensing methods in the Land use and cover maps. Case study: Roman city and the surroundings of the Northern side area / 2022 8th International Conference on Energy Efficiency and Agricultural Engineering (EE&AE), Ruse, Bulgaria, 2022. P. 1-5 [doi: 10.1109/EEAE53789.2022.9831397].
- [4] Li J., Xia Y., Cheng Y. Application of UAV Remote Sensing Technology based on GIS in the Execution of Tasks of the People's Armed Police / 2022 8th Annual International Conference on Network and Information Systems for Computers (ICNISC), Hangzhou, China, 2022. P. 36-40 [doi: 10.1109/ICNISC57059.2022.00017].
- [5] Han L. 3D Urban Landscape Network Publishing Technology Based on Remote Sensing and GIS // 2022 International Conference on Artificial Intelligence of Things and Crowdsensing (AIoTCs), Nicosia, Cyprus, 2022. P. 6-10 [doi: 10.1109/AIoTCs58181.2022.00008].
- [6] Plakhotnikov D.P., Kotova E.E. Comprehensive Analysis of Cyber-Physical Systems Data // 2021 XXIV International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM), St. Petersburg, Russia, 2021. P. 175-178 [doi: 10.1109/SCM52931.2021.9507112].
- [7] Liu C., Wang F., Wang W., Zhang Q. Zhang L. Study on Mountain Space in Mount Tai Region Based on GIS Spatial Data Analysis // 2021 IEEE Conference on Telecommunications, Optics and Computer Science (TOCS), Shenyang, China, 2021. P. 400-403. [doi: 10.1109/TOCS53301.2021.9689009].
- [8] Hu C., Zhou X. Research on 3D GIS Data Modeling System Based on Computer Big Data Technology / 2023 IEEE 3rd International Conference on Data Science and Computer Application (ICDSCA), Dalian, China, 2023. P. 1362-1366 [doi: 10.1109/ICDSCA59871.2023.10393849].
- [9] Zhuang F., Du W. Intelligent Decision Support System for Distribution Network Planning Based on Artificial Intelligence and GIS Technology / 2022 IEEE 5th Advanced Information Management, Communicates, Electronic and Automation Control Conference (IMCEC), Chongqing, China, 2022. P. 1934-1938 [doi: 10.1109/IMCEC55388.2022.10019346].
- [10] Dörr N., Schenk A., Hinz S. Analysis of Heterogeneous PS-InSAR Derived Subsidence Rates Using Categorized GIS Objects - A Case Study in the Mekong Delta / 2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS, Brussels, Belgium, 2021. P. 2655-2658 [doi: 10.1109/IGARSS47720.2021.9553297].
- [11] Zhen W., Development and Implementation of Border Tourism Resources Evaluation System Based on GIS / 2021 International Conference on Intelligent Transportation, Big Data & Smart City (ICITBS), Xi'an, China, 2021. P. 97-100 [doi: 10.1109/ICITBS53129.2021.00033].
- [12] Li Y., Zhang C., and Tian L. Design of GIS Based Mobile Data Acquisition System for Agricultural Green Development / 2023 IEEE 2nd International Conference on Electrical Engineering, Big Data and Algorithms (EEBDA), Changchun, China, 2023. P. 1716-1720 [doi: 10.1109/EEBDA56825.2023.10090538].
- [13] Кходер X., Верхова Г.В., Акимов С.В. Модульная технология проектирования гибких сложных систем // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2017. Т. 11. № 9. С. 86-90.
- [14] Verkhova G.V., Akimov S.V. Multi-Aspect modeling system objects in CALS // Proceedings of 2017 20th IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM 2017. P. 452-454. [doi: 10.1109/SCM.2017.7970614].
- [15] Верхова Г.В., Акимов С.В. Метод объединения гетерогенных геопространственных данных на основе многоаспектных моделей // Телекоммуникации. 2021. № 3. С. 34-40.