

Д. В. ЛИСИЦКИЙ

ЦИФРОВАЯ МОДЕЛЬ МЕСТНОСТИ

Главной задачей в решении проблемы автоматизации создания топографических карт является разработка принципиально новой формы представления топографо-геодезической информации — цифровой модели местности (ЦММ). Получаемая в результате сбора и обработки съемочных данных ЦММ является основной продукцией автоматизированного топографо-геодезического производства, пригодной для накопления, длительного хранения и обновления с помощью ЭВМ в банке топографо-геодезических данных. ЦММ может быть использована непосредственно в инженерных расчетах при строительном проектировании или преобразована в цифровую модель карты («цифровую карту») и затем реализована графически в виде топографической карты или плана.

В отечественной нормативно-технической литературе цифровая модель местности определяется как «множество, элементами которого является топографо-геодезическая информация и правила обращения с ней» [3] или как «отображение в виде пространственных координат множества точек земной поверхности, объединенных в единую систему по определенным математическим законам» [5]. Не останавливаясь на полноте и корректности этих определений, выделим в них следующие характеристики ЦММ:

— содержание модели составляет топографо-геодезическая информация;

— модель представляет собой некоторую систему данных и, следовательно, характеризуется определенной структурой;

— модель создается посредством преобразования топографо-геодезической информации по определенным математическим законам в соответствии с некоторым алгоритмом сбора и интерпретации данных.

Кроме того, в самом термине употреблено слово «цифровая», указывающее на дискретный характер представления информации, соответствующий требованиям обработки на ЭВМ.

Если рассматривать ЦММ как некоторую систему информации о местности [1, 4], то с позиций теории систем она представляет собой сочетание абстрактной математической модели с интерпретацией этой модели на конкретной предметной об-

ласти — земной поверхности. Абстрактная математическая модель представляет собой конечное множество переменных и констант с явно заданными отношениями, т. е. может рассматриваться как некоторая знакомая (дискретная) система с конечным набором символов и строго определенными правилами оперирования этими символами. Интерпретацию модели можно понимать как установление соответствия между символами и отношениями абстрактной модели и реальными данными, т. е. как процесс наполнения некоторой математической схемы фактической информацией.

Следовательно, содержание цифровой модели местности M_m составляет некоторая служебная информация S , формально отображающая абстрактную математическую модель и интерпретирующая эту модель топографо-геодезическая информация (I) о свойствах местности, т. е. $M_m = \{S, I\}$.

Служебная информация представляет собой совокупность понятий и данных, определяющих содержание и свойства ЦММ: отображаемые топографические свойства* местности, степень абстрагирования и детализации съемки ситуации и рельефа, систему идентификации топографических элементов, математическую основу и т. д. Главной ее особенностью является то, что она «субъективна» относительно местности. Основным выражением служебной информации есть принятая для данной модели система индексирования и кодирования топографо-геодезической информации.

Топографо-геодезическая информация включает в себя комплекс формализованных, т. е. соответственно закодированных сведений (количественных и качественных) об элементах местности, собранных геодезическими и фотограмметрическими методами по программе, удовлетворяющей требованиям ЦММ, заданной служебной информацией. Анализ информационной сущности этих сведений [4] позволяет представить содержание топографической информации совокупностью множеств

$$I = \{I_{st}, I_{gm}, I_{sm}\}, \quad (1)$$

где I_{st} — структурная информация;

I_{sm} — семантическая информация;

I_{gm} — геометрическая информация;

причем $I_{gm} \cap I_{st} \neq \emptyset$.

Структурная информация отображает логико-пространственные отношения (связи) топографических элементов местности. Она содержит два основных компонента — *синтаксическую* информацию I_{sn} , характеризующую геометрическую структуру и форму рельефа и контуров, и *структурно-предметную* информа-

* Здесь имеются в виду те свойства земной поверхности и местных предметов, которые подлежат определению в процессе топографической съемки и отображаются затем на топографических картах.

цию I_{sp} , отображающую отношения двух и более местных предметов (топологические отношения типа «рядом», «внутри» и т. п., таксономические характеристики принадлежности местных предметов к тому или иному классу, подклассу и т. п.). Структурная информация формируется в процессе топографической съемки путем восприятия человеком отдельных элементов местности. Примером носителя структурной информации может служить абрис — простейшая разновидность геометрической модели местности, снабженная необходимыми для ЦММ интерпретирующими сведениями.

Геометрическая информация представляет собой совокупность данных, отображающих свойства земной поверхности в геометрическом отношении. Такая информация образуется непосредственно при аналого-аналитическом способе обработки фотоснимков и дигитализации графических материалов или в результате камеральной обработки дискретных данных. Составными частями геометрической информации являются синтаксическая и метрическая (I_{mt}) информация, т. е. $I_{gm} = \{I_{mt}, I_{sn}\}$. При этом метрическая информация представляет собой совокупность данных о взаимопространственном положении точек земной поверхности. К этой информации относятся координаты и высоты точек местности, полученные в результате геодезических и фотограмметрических измерений. Носителем метрической информации является, например, каталог координат и высот.

Семантическую информацию составляет множество заданных условными знаками (для конкретного случая картографирования) характеристик технических, биологических, социальных и других свойств местных предметов и отдельных форм рельефа. Эти характеристики собираются в процессе обследования местности, камерального и полевого дешифрирования снимков, сбора и анализа различных материалов картографического значения.

Таким образом, топографо-геодезическая информация объединяет информацию о внешних, геометрических свойствах местности, внутренней сущности картографируемых предметов и явлений, свойствах отношений топографических элементов. Следовательно, содержание цифровой модели местности окончательно может быть представлено в зависимости от варианта реализации в виде множеств

$$M_m = \{S, I_{mt}, I_{st}, I_{sm}\} \quad (2)$$

и

$$M_m = \{S, I_{gm}, I_{sp}, I_{sm}\}. \quad (3)$$

Рассмотрим теперь структуру ЦММ, обуславливающую логические связи рассмотренных видов информации и представляющую собой некоторый набор элементов информации и правил композиции этих элементов, т. е. способ организации ЦММ.

В качестве исходного понятия при описании структуры ЦММ можно принять определение системы тройкой, данное в работе [2]

$$\langle \psi_a, \psi_b, P_0, (\psi_a, \psi_b) \rangle, \quad (4)$$

где ψ_a — внешнее свойство системы, выражающееся в ее поведении (состоянии);

ψ_b — внутреннее свойство системы в виде ее структуры (строения);

$P_0(\psi_a, \psi_b)$ — предикат, определяющий функциональную целостность системы, т. е. такое ее строение, при котором свойства всей системы не сводятся к суммарным свойствам ее составных частей.

Учитывая, что ЦММ относится к классу статических структурных моделей, состояние которых характеризуется только структурными отношениями составляющих их элементов [4], сущность ее можно определить на основании (4) выражением

$$M_m = \{M_e, P_z\}, \quad (5)$$

где M_e — множество моделей топографических элементов местности;

P_z — множество системных параметров, объединяющих эти модели в единую систему (M_m), т. е. предикат структурной целостности.

Модель каждого топографического элемента может быть описана аналогичным образом с учетом иерархического характера ЦММ, соответствующего иерархическому характеру системы «местность»; общее выражение для модели топографического элемента на i -м иерархическом уровне обобщения (M_e^i) получит вид

$$M_e^i = \{(M_e^{i-1} / M_e^{i-1} \subset M_e), P_z^i / P_z^i \subset P_z\}, \quad (6)$$

где M_e^i — подмножество множества M_e , содержащее модели топографических элементов последующих, начиная от $(i-1)$ -го, уровней иерархии, составляющих модель i -го уровня;

P_z — подмножество множества P_z , содержащее системные параметры модели i -го уровня.

Выражения (5) и (6) по сути представляют собой совокупность некоторых множеств с заданными в них бинарными отношениями и, следовательно, могут рассматриваться как графы. Тогда иерархическое представление ЦММ и составляющих ее элементов в соответствии с иерархией моделируемых элементов местности (рис. 1, а) позволяет отобразить логическую структуру ЦММ в виде ориентированного графа типа дерева (рис. 1, б), где корнем (M_m) служит ЦММ, а вершинами и листьями — цифровые модели топографических элементов и системные параметры соответствующих уровней сообщения.

Первый уровень иерархии содержит информацию, моделирующую отдельные свойства наблюдаемых топографических элементов. Геометрические свойства отображаются множеством цифровых моделей точек ситуации (M_{ts}) и рельефа (M_{tr}) и совокупностью системных параметров, указывающих на геометрическую структуру контуров ситуации (P_{hs}), контуров отдельных форм рельефа (P_{fr}) или земной поверхности в целом (P_{zr}). Модели точек представляют собой соответственно пары

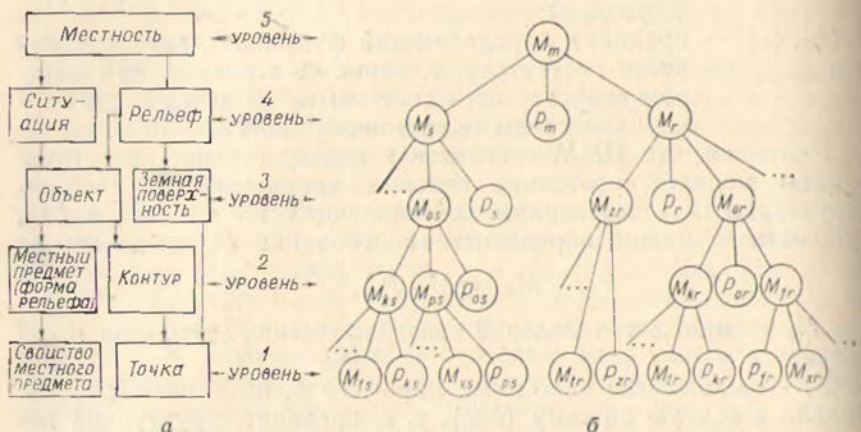


Рис. 1. Иерархическое представление местности и ЦММ:

(а) структура моделируемых элементов, (б) структура цифровой модели местности).

(X, Y) или тройки (X, Y, H) координат, а системные параметры — символьные коды, обозначающие характер связи точек в контуре (последовательность соединения, форму связи, геометрический вид, точность идентификации и т. д.) или характер расположения точек на земной поверхности (в характерных местах, по регулярной сетке, по профилям и т. д.). Другие свойства топографических элементов, относящиеся к семантической информации, отражены в ЦММ в виде моделей свойств (характеристик) местных предметов ситуации (M_{xs}), моделей свойств отдельных форм рельефа (M_{xr}) и системно связывающих их параметров P_{ps} и P_{fr} соответственно.

На втором уровне абстрагирования ЦММ в структурном отношении представляет собой совокупность цифровых моделей контуров ситуации (M_{hs}) и отдельных форм рельефа (M_{hr}), цифровых моделей самих местных предметов (M_{ps}) и форм рельефа (M_{fr}), а также системных параметров, определяющих соответствие контуров предметам ситуации (P_{os}) и формам рельефа (P_{or}). Под контуром при этом понимается след пересечения границы объекта местности (местный предмет, отдельная форма рельефа) с земной поверхностью, а также проекция на нее границ надземных и подземных объектов. В общем виде цифровая модель контура M_k представляет

собой объединение цифровых моделей точек M_i в соответствии с заданными отношениями P_k , т. е. является высказыванием вида

$$M_k^j p_k^j = \bigcup_{i \in N_j} M_i^j, \quad (7)$$

где $N_j = \{1, 2, \dots, n\}$; n_i — количество точек в j -м контуре.

Аналогично модель j -го местного предмета или формы рельефа M_p определяется общим выражением

$$M_p^j p_p^j = \bigcup_{i \in L_j} M_i^j, \quad L_j = \{1, 2, \dots, l_j\}, \quad (8)$$

где M_x^i и P_p^j — соответственно модель свойства местного предмета и объединяющий системный параметр;

l_j — количество свойств j -го предмета или формы рельефа.

В качестве системных параметров P_{os} и P_{or} могут быть номера контуров и предметов местности в соответствии с принятой системой идентификации топографических элементов.

Третий уровень описания ЦММ содержит цифровые модели объектов ситуации (M_{os}) и рельефа (M_{or}) местности, модель земной поверхности (M_{zr}) и объединяющие их параметры P_s (для ситуации) и P_r (для рельефа). Под объектами здесь понимаются топографические элементы, имеющие границы и выражаемые условными знаками — местные предметы естественного и искусственного происхождения, грунты, формы рельефа и т. д. Модель объекта M_0 представляет собой совокупность моделей контура и предмета местности, отвечающая заданным отношениям P_0 , т. е.

$$M_0 P_0 = M_k \cup M_p. \quad (9)$$

Моделью земной поверхности является объединение моделей точек рельефа в соответствии с заданными отношениями, т. е.

$$M_{zr} P_{zr} = \bigcup_{i \in K} M_i^j, \quad K = \{1, 2, \dots, k_j\}, \quad (10)$$

где k_j — число точек, определенных на земной поверхности для отображения рельефа.

В качестве системных параметров ситуации и рельефа выступают символьные коды, идентифицирующие объекты местности в соответствии с принятой системой (например, порядковые номера или координаты центра тяжести контуров объектов).

Четвертый уровень иерархии моделей ЦММ составляют цифровые модели ситуации (M_s) и рельефа (M_r). Объединение их в соответствии с системным параметром P_m (единая система координат, одна степень подробности отображения рельефа и ситуации и т. д.) образует последний, пятый уровень абстрагирования — цифровую модель местности M_m .

Рассмотренные представления содержания и структуры цифровой модели местности определяют основную сущность цифрового моделирования как процесса восприятия и преобразования

информации. Алгоритм моделирования представляет собой совокупность процессов сбора и последовательного обобщения топографической информации от исходных данных до ЦММ и может быть проиллюстрирован следующей укрупненной блок-схемой (рис. 2).

Таким образом, изложенные представления о содержании, структуре и процессе создания ЦММ позволяют сформулировать следующее развернутое ее определение.

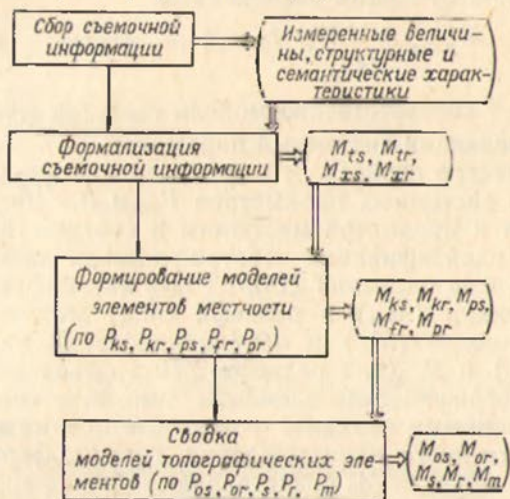


Рис. 2. Алгоритм цифрового моделирования местности:

(одинарные стрелки — направление процесса, двойные стрелки — потоки информации).

Цифровая модель местности является особой формой представления топографо-геодезической информации в виде системы пространственных дискретных характеристик топографических элементов местности, формализованных соответственно выбранному способу моделирования и составляющих геометрическую модель местности, и понятийно-содержательных сведений, являющихся интерпретацией этой геометрической модели на картографируемые предметы, явления и процессы (естественные и гуманитарные); при этом форма моделирования, определяющая геометрические свойства, состав и полноту содержания модели, задается дополнительно и отражает потребительский характер ЦММ.

Рассмотренные принципы характеризуют один из вариантов реализации цифрового моделирования и в определенной степени соответствуют специфике конкретного назначения ЦММ. Приведенные выше понятия содержания и структуры ЦММ, сущности цифрового моделирования местности составляют основу информационного обеспечения разрабатываемой в НИИПГ автоматизированной системы крупномасштабного картографи-

рования местности. В то же время изложенный здесь подход может быть использован и в случаях другого назначения ЦММ, например, при накоплении топографической информации в территориальных банках данных, применении цифрового моделирования местности в автоматизированных системах проектирования, других подобных областях деятельности.

Список литературы: 1. Антипов И. Т., Лисицкий Д. В. Автоматизация крупномасштабного картографирования. Проблемы, пути решения. — Геодезия и картография, 1979, № 11. 2. Горбатов В. А. Теория частично упорядоченных систем. — М.: Советское радио, 1976. 3. ГОСТ 22268—76. Геодезия. Термины и определения. 4. Лисицкий Д. В. Теоретические основы автоматизации процессов крупномасштабного картографирования. — Тр. НИИПГ. М., 1979, вып. 3. Автоматизация процессов крупномасштабного картографирования наземными методами. 5. Основные положения по созданию топографических планов масштабов 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000 и 1 : 500. ГКИНП—НТА—02—118. — М., 1979.

Статья поступила в редколлегию 09.07.80