

МАШИННОЕ ПОСТРОЕНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВНЫХ ЗНАКОВ

Разработка программного обеспечения автоматизированной системы геологического картографирования (АСГК-1) [2] потребовала решения целого ряда достаточно сложных проблемно-ориентированных задач. Одна из них — графическое отображение данных геологического картирования в принятой для геологических карт системе условных знаков. Методы конструирования знаков с помощью ЭВМ для решения топографо-геодезических и картографических задач рассмотрены в многочисленных работах [1, 4, 6]. Однако реализованные на ЭВМ способы не удовлетворяют всем многообразным ситуациям, возникающим при построении геологических условных знаков. В данной статье рассмотрим способ построения площадных дискретных условных знаков в комплексе с задачей заполнения ими многосвязной области.

Система геологических условных знаков отличается большим разнообразием форм знаков и внутренних структур. Особенности структуры и текстуры пород, морфологические и генетические особенности принято отображать изменением размера и усложнением деталей формы опорных знаков; разнообразности пород показывают объединением или совмещением знаков с учетом иерархии в общей конструкции изображения. В этом случае процесс машинного построения картографического условного знака (КУЗ) требует разработки эффективных способов описания знака, а также методов получения различных комбинаций знаков. В приведенном способе описание свойств знаков организовано по табличному принципу с включением закодированных признаков, формирующих знак: символ, его метрические и графические характеристики, описание структуры. Информация о символах содержится в библиотеке символов (БСИ), где каждому дискретному символу соответствует координатная и служебная информация. Внутренняя структура КУЗ описывается числовой матрицей — эталоном, совокупность которых образует библиотеку описаний эталонных структур. Предложенный подход позволяет реализовать множественные операции над структурами, получать сложные структуры комбинацией простых. Такая организация данных дает пользователю возможность оперативно корректировать и расширять набор условных знаков, не меняя при этом программ, и обеспечивает независимость системы построения условных знаков от конкретного типа графических устройств.

Задачу отображения картируемых знаков внутри заданной многосвязной области решаем по принципу последовательной дискретизации части области, заключенной в прямоугольнике (окне), скользящем по области. В результате дискретизации

формируется матрица-маска, позволяющая выделить элементы эталона, лежащие внутри области. Весьма важно, что указанные операции выполняются в пределах окна, что значительно ограничивает размер матрицы-маски. Информация о границах области хранится в базе данных АСГК-1 в виде цепочки геометрически упорядоченных координат аппроксимационных точек линий [5]. Рассмотрим этапы формирования КУЗ, заполнения многосвязной области и вопросы программной реализации алгоритма.

1	∇	2	—	3	≠	N	X	Y	КОП	N	X	Y	КОП
						1	0	30	ЛП	2	0	15	ЛП
							15	0			30	15	
4	↑	5	□	6	∨	30	30			3	4	0	ЛП
							0	30			4	18	
						4	0	12	ЛП		9	18	ЛП
							18	12			9	0	
7	П	8	λ	9	Т	18	6		ЛП		14	0	ЛП
							0	4			14	18	
						5	5	5	ЛП	6	0	2	ЛП
							5	17			10	0	
10	←	11	→	12	○	17	17				20	20	

Рис. 1. Пример организации БСИ и соответствующие графические образы символов геологических условных знаков:

N — номер знака; X, Y — координаты точек конструктивных элементов; КОП — коды операций; ЛП — линейная интерполяция; КП — квадратичная интерполяция.

Организация библиотеки символов. Для построения символа КУЗ принята система правил, не зависящих от конкретного типа графопостроителя. С этой целью символ предварительно вычерчиваем с десятикратным увеличением, затем последовательно выписываем координаты узловых точек конструктивных элементов в локальной системе координат с указанием правил их соединения (рис. 1). Отметим некоторую особенность выбора точечных условных знаков (символы песка, алевроитов и т. п.). В качестве символа принимаем один или несколько квадратов в зависимости от типа пород. При вычерчивании в уменьшенном масштабе квадраты сливаются в точки, размер квадрата позволяет регулировать «размер» точки. Номер символа, координаты его узлов вместе с кодами операций составляют библиотеку символов, которая хранится на магнитном диске. При такой организации библиотеки функции поиска и воспроизведения графического образа символа осуществляют программы: 1) формирования каталога БСИ, указывающего адрес записи номера символа; 2) конструирования символа — формирования массива координат узлов, списка адресов начальной координаты конструктивного элемента символа, вычерчиваемого с по-

мощью одной операции, и списка кодов операций; 3) интерпретации кодов операций функциями базовой графической системы.

Эталонные структуры и операции над ними. Анализ внутренней структуры принятых геологических условных знаков позволяет выделить около двадцати видов простых эталонных структур (регулярную, шахматную, хаотичную, сетчатую, линейную, чередующуюся и др.) и ряд составных структур, которые можно получить объединением эталонных структур. С целью формализации описания структур и реализации мно-

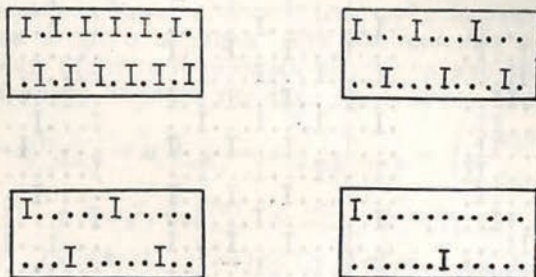


Рис. 2. Виды шахматных структур для последовательности из 12 элементов.

жественных операций над дискретными структурами использован аппарат матриц. В качестве эталона структуры КУЗ выбран прямоугольный участок, расположение символов в котором описывается матрицей, состоящей из нулей и единиц, наличие символа указывает единичный элемент. В процессе выполнения программы ненулевые элементы замещаются кодом конкретного символа КУЗ. Координаты символа в прямоугольнике легко вычислить, зная шаг по строкам и столбцам матрицы. Число строк и столбцов матрицы следует выбрать так, чтобы при стыковке эталонов обеспечить правильность чередования рисунка знака по горизонтальному и вертикальному направлению. Рассмотрим подробнее вопрос выбора размера эталонной матрицы. Обозначим число элементов в повторяющейся группе через s , тогда для описания k регулярных структур с числом элементов $s_1 < s_2 < \dots < s_k$ требуется последовательность нулей и единиц длины m , где m — наименьшее общее кратное чисел s_1, s_2, \dots, s_k . Число различных шахматных структур в этом случае равно числу групп с четным количеством элементов. Например, для $m=12$ существует шесть различных регулярных структур (число элементов в группах равно соответственно: 1, 2, 3, 4, 6, 12) и четыре вида шахматных структур (рис. 2).

Матрица размером 12×12 позволяет описать 36 видов регулярных и 16 видов шахматных структур. Кроме того, множество элементов матрицы позволяют описывать хаотичные структуры и воспроизводить структуры с более сложными рисунками. В качестве примера для системы геологических знаков выбраны эталоны размером 12×16 . Образцы эталонов и вычерченные по ним условные знаки представлены на рис. 3.

Для описания множественных операций введем следующие определения: A, B, C — матрицы эталонов первого порядка; $A^{(2)}$ — эталон второго порядка, описывающий четвертую часть прямоугольного участка, соответствующего A ; размер матрицы $A^{(2)}$ равен размеру A , шаг по строкам и столбцам для $A^{(2)}$ равен половине шага, принятого для A ; a_{ij}, b_{ij}, c_{ij} — элементы матриц, принимающие значения кодов символов КУЗ; E — матрица-маска, элементы которой $e_{ij}=1$ для точек внутри области

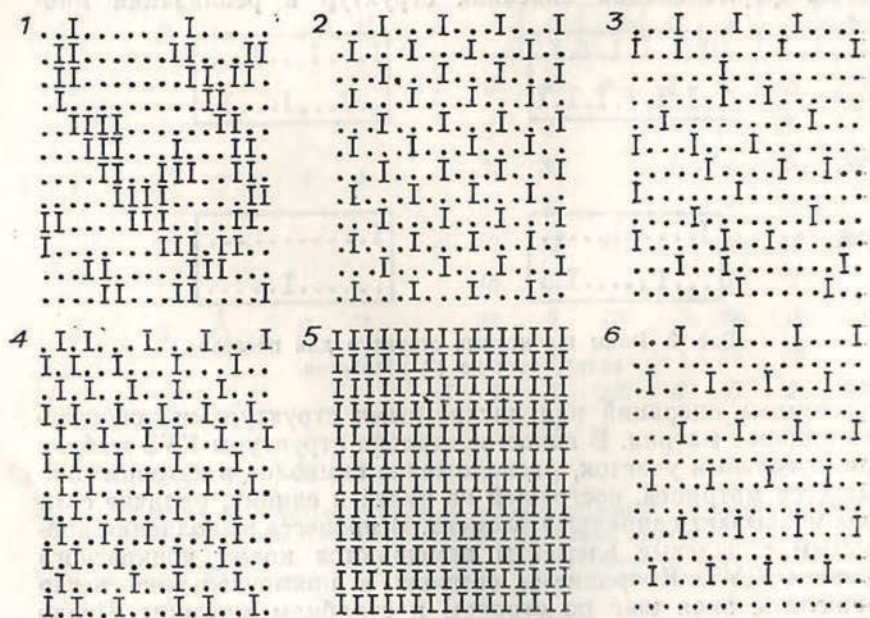


Рис. 3. Образцы эталонных матриц и примеры условных знаков.

Символ (.) — означает нулевой элемент. Эталон 1 — отображает структуру условного знака глины; эталон 5 — регулярную структуру; эталоны 2, 6 — шахматные структуры; эталоны 3, 4 — хаотичные структуры.

и $e_{ij}=0$ для точек вне области; $P_A = r/(m \cdot n)$ — плотность эталона A , где r — число ненулевых элементов эталона A размера $m \times n$.

Определим операцию объединения эталонов:

$$C = A \cup B \quad c_{ij} = \begin{cases} a_{ij}, & \text{для } b_{ij} = 0, \\ b_{ij}, & \text{для } b_{ij} \neq 0, \end{cases} \quad P_A > P_B. \quad (1)$$

При объединении одинаковых структур принято правило чередования символов КУЗ.

Для описания структур с мелким и сложным рисунком, например, условного знака глины (см. рис. 3, эталон 1) применяем эталон второго порядка. Для выполнения множественных операций над эталонами разных порядков вводим правило построения эталона первого порядка по эталону второго порядка:

$$a_{ij}^{(1)} = a_{i,j+n/2}^{(1)} = a_{i+m/2,j}^{(1)} = a_{i+m/2,j+n/2}^{(1)} = \begin{cases} 1 & \text{при } t \neq 0, \\ 0 & \text{при } t = 0, \end{cases} \quad (2)$$

$$t = a_{k,l}^{(2)} + a_{k,l+1}^{(2)} + a_{k+1,l}^{(2)} + a_{k+1,l+1}^{(2)},$$

$$i = [k/2], \quad j = [l/2], \quad k \leq m, \quad l \leq n,$$

где $a^{(1)}$ — элемент A ; $a^{(2)}$ — элемент $A^{(2)}$.

Для получения различных хаотичных структур выполняем перестановку строк и столбцов матрицы эталонов.

Операция пересечения матриц маски и эталона позволяет выделить рабочую область внутри эталона:

$$C = E \cap A, \quad c_{ij} = \begin{cases} a_{ij} & \text{при } e_{ij} = 1, \\ 0 & \text{при } e_{ij} = 0. \end{cases} \quad (3)$$

Совокупность пронумерованных матриц эталонов образует библиотеку эталонных структур (БЭС). Наличие библиотеки символов и описания структур позволяет полностью формализовать описание графического образа условного знака, его внутренней структуры и составить таблицу признаков.

Таблица признаков КУЗ (ТПЗ). В качестве основных признаков, формирующих КУЗ, приняты следующие: код объекта, его наименование, номер символа в БСИ, ориентация символа, деформация, масштабный коэффициент, цвет, номер эталона структуры и его порядок. Ориентация символа может быть как фиксированной, так и произвольной, в этом случае угол поворота выбирается случайным образом из ряда значений, заданных в программе. Таким способом можно построить хаотичные структуры по регулярным эталонам. Например, по эталону 5 (см. рис. 3) воспроизводится хаотичность условных знаков песка, алевроитов, угольных сланцев и т. п. При наличии признака деформации в координаты точек символа вносятся случайные искажения, такой прием позволяет видоизменить форму опорного символа без добавления новых символов в БСИ.

При выполнении программы составляющие признак простые структуры объединяются по вышеприведенным правилам и вычерчивание выполняется по результирующему эталону. Таблица признаков хранится на магнитном диске.

Заполнение области. Внешний контур многосвязной области заключается в прямоугольник, который сканируется скользящим окном. Размеры прямоугольника выбираем кратными размерами эталона, движение окна начинается с левого нижнего угла снизу вверх с шагом в один эталон. Часть контура внутри окна отображается на матрицу, одного порядка с эталонной, а контур вне окна фиксируется в окаймлении матрицы (рис. 4).

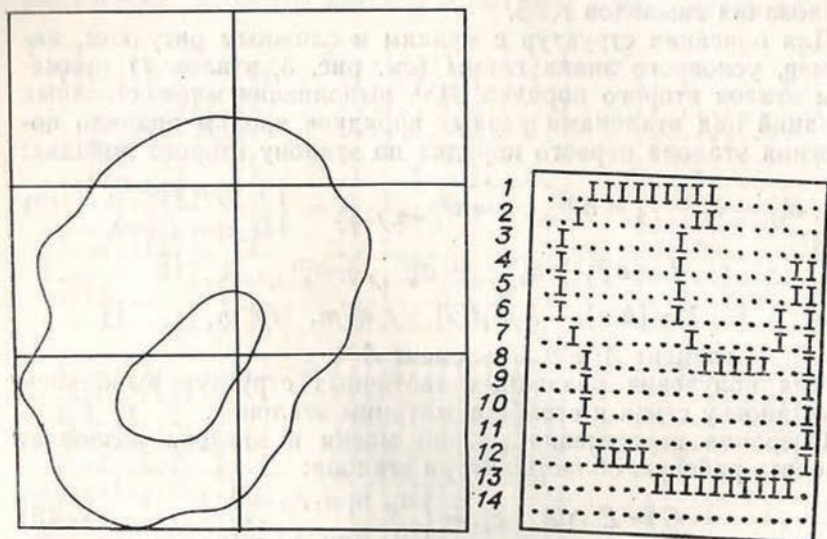


Рис. 4. Пример дискретизации границы области для левого нижнего окна. Символом 1 обозначена граница; в окаймлении матрицы (строки 1, 14, столбцы 1, 14) отображена граница вне окна.

Процесс такого преобразования известен под названием дискретизации и достаточно подробно освещен в литературе по обработке изображений, например [3]. Отметим некоторые особенности разработанного алгоритма. В качестве шага дискретизации выбираем шаг, принятый для эталонной матрицы, индексы i, j элементов, интерпретирующих образ контура, определим по формуле

$$i = \begin{cases} 1 & \text{при } k < 1, \\ k & \text{при } 1 \leq k \leq m, \\ m+2 & \text{при } k > m, \end{cases} \quad j = \begin{cases} 1 & \text{при } l < 1, \\ l & \text{при } 1 \leq l < n, \\ n+2 & \text{при } l > n, \end{cases} \quad (4)$$

$$k = \left[\frac{x - x_1}{\Delta x} \right]_{\text{окр.}} + 1, \quad l = \left[\frac{y - y_0}{\Delta y} \right]_{\text{окр.}} + 1.$$

Здесь x, y — текущие координаты прямой, связывающей вершину (x_1, y_1) с вершиной (x_2, y_2) ; x_0, y_0 — координаты левого нижнего угла окна; $[\dots]_{\text{окр.}}$ — означает округление до ближайшего целого; $m \times n$ — размер; $\Delta x, \Delta y$ — шаги матрицы

эталонов. Следует отметить, что прямая, построенная по округленным значениям, имеет ступенчатый вид, поэтому необходимо удалить лишние элементы перед выполнением дальнейшей процедуры закрашивания матрицы. Предварительно матрица заполняется нулевыми значениями. Дискретизация границ начинается с внешнего контура, элементы матрицы, соответствующие контуру, отмечаем единицей. Если последующий контур повторно отображается на элемент $e_{ij}=1$, то состояние его изменяется на $e_{ij}=0$. Таким образом, при наложении два контура взаимно уничтожаются (см. рис. 4). Формируется маска путем изменения значений элементов матрицы при переходе че-



Рис. 5. Фрагмент геологической карты.

рез контур, причем просмотр матрицы начинается всегда с окаймления, в котором содержится информация о точках, лежащих вне области.

Координаты точки нанесения символа вычисляем по ненулевым точкам результирующего эталона:

$$x = x_0 + (i - 1) \Delta x, \quad y = y_0 + (m - j) \Delta y, \quad (5)$$

где x_0, y_0 — координаты левого нижнего угла окна.

Для эталона второго порядка $A^{(2)}$ предварительно по ненулевым элементам A отыскиваем соответствующие пары индексов:

$$(k, l), (k + 1, l), (k, l + 1), (k + 1, l + 1), \quad (6)$$

$$k = 2(i - 1) + 1, \quad l = 2(j - 1) + 1$$

для $i \leq m/2, j \leq n/2$.

При $i > m/2, j > n/2$ вместо i, j берем $i' = i/2, j' = j/2$.

По ненулевым значениям $A^{(2)}$ в точках с координатами $(x, y), (x + \Delta x/2, y), (x, y + \Delta y/2), (x + \Delta x/2, y + \Delta y/2)$ вычерчиваем четыре символа. Таким образом, каждая четвертая часть поля, соответствующая эталону A , заполняется по структуре эталона $A^{(2)}$.

Характеристика программного обеспечения. Изложенный алгоритм машинного построения геологических условных зна-

ков и заполнения многосвязной области реализован в виде комплекса программ для ЕС ЭВМ, написанных на языке Фортран. В качестве графического устройства отображения использован графопостроитель ЕС-7907. Все программы имеют модульную структуру. В состав комплекса входят программы записи БСИ, БЭС

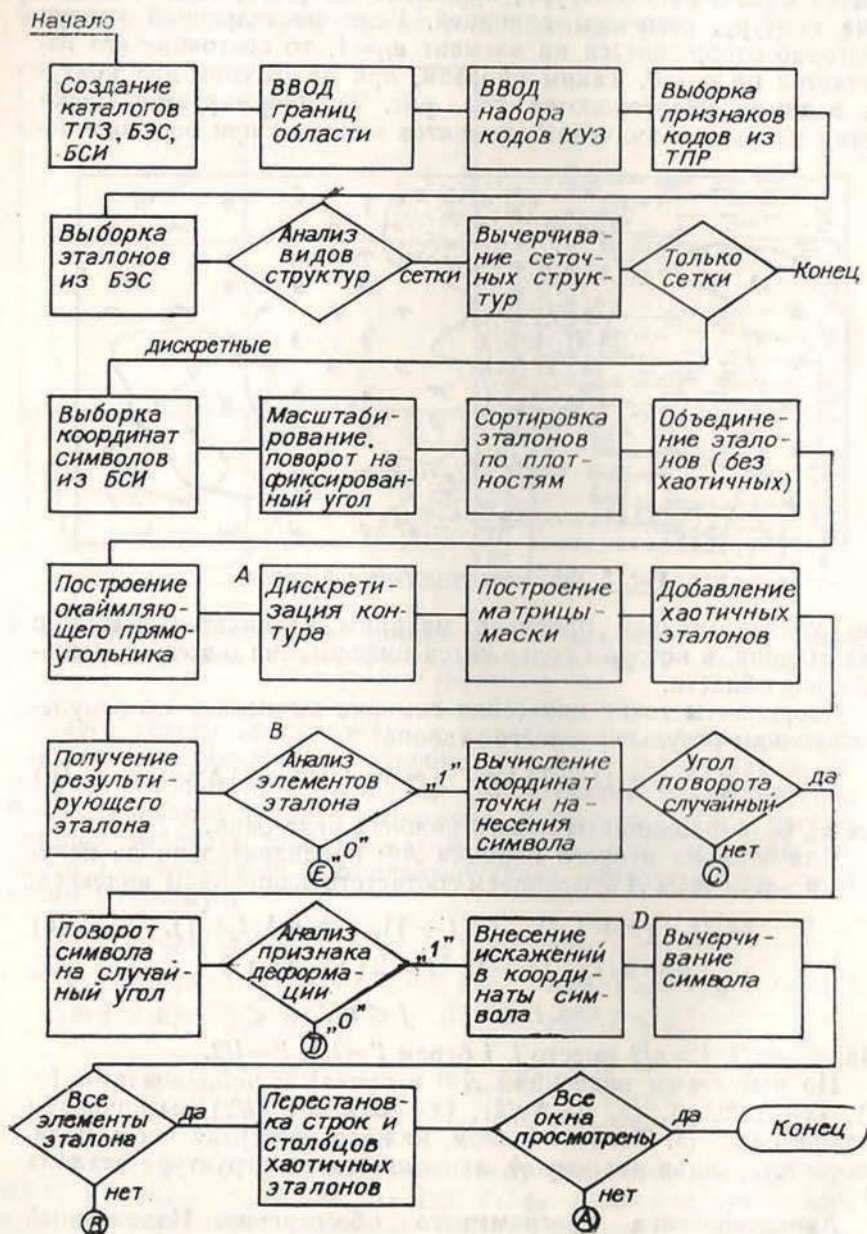


Рис. 6. Блок-схема заполнения КУЗ многосвязной области.

и ТПЗ в рабочий файл прямого доступа на пакет магнитных дисков (для ускорения функций поиска требуемой записи), три подпрограммы формирования каталогов для библиотек, две подпрограммы, реализующие операции над эталонами, подпрограмма, управляющая графической частью, три подпрограммы формирования и вычерчивания символов, три подпрограммы дискретизации и ряд вспомогательных программ. На основе комплекса созданы программы, выполняющие рисовку символов КУЗ (см. рис. 1), каталога КУЗ (см. рис. 3) и вычерчивание условных знаков в стратиграфической колонке, а также заполнения КУЗ многосвязной области (рис. 5). Блок-схема последней программы показана на рис. 6. Входными данными являются набор кодов условных знаков и дискретные координаты контура, определяющие занятую объектом многосвязную область.

Результаты практических работ показали, что при машинном построении геологических условных знаков на площади 400 кв. см по эталонам с плотностью $P=0,7-1$ требуется 5, 6 мин времени центрального процессора ЕС-1033 на выполнение программы и записи управляющих кодов графопостроителя на магнитную ленту. Вычерчивание на графопостроителе «Дигграф-1712» занимает около 30 мин.

В заключение отметим, что разработанный программный комплекс построения геологических условных знаков с помощью ЭВМ отличается универсальностью и гибкостью. Его можно использовать при автоматизации вычерчивания топографо-геодезических и тематических карт. Для этого достаточно заменить информационные таблицы (ТПЗ, БСИ и БЭС). Кроме того, включенные в комплекс программы дискретизации позволяют получать количественные характеристики объектов (периметры контуров и площади), необходимые для анализа карт.

Практический опыт эксплуатации рассматриваемого комплекса программ при вычерчивании геологических карт дает положительные результаты и позволяет наметить пути дальнейшего совершенствования прежде всего за счет включения программ по автоматическому регулированию плотности заполнения КУЗ области в зависимости от ее площади и формы.

1. Васмут А. С. Моделирование в картографии с применением ЭВМ. М., 1983.
2. Дорожинский А. Л., Верниковский В. Н., Тумская О. В., Шкурченко Ю. В. Информационное обеспечение автоматизированной системы цифрового и графического построения геологической карты // *Общая и региональная геология. Геологическое картирование*. 1986. Вып. 12. С. 8—14.
3. Павлидис Т. Алгоритмы машинной графики и обработки изображений. М., 1986.
4. Старостенко Д. А., Богданский Е. Д., Эльман Р. И. Генератор видов линий для автоматизированной системы картографирования лесов // *Геодезия и картография*, 1986, № 12. С. 37—42.
5. Тумская О. В., Шкурченко Ю. В. Программно-математическое обеспечение автоматизированной системы цифрового и графического построения геологической карты // *Общая и региональная геология. Геологическое картирование*. 1987. Вып. 3. С. 1—6.
6. Ширяев Е. Е. Картографическое отображение, преобразование и анализ геонформации. М., 1984.