

А.В. ЗАВАРЗИН¹, В.И. МЕСЮРА²

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ МНОГОМЕРНЫХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ

¹ ГИС-Ассоциация, РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, главное здание, к. 508, Ленинский проспект, 65, Москва, 117333, Россия, E-mail: gisa@inbox.ru

² Винницкий государственный технический университет, 95, Хмельницьке шосе, Вінниця, 21021, Україна
Тел : +380 (432) 437-880, E-mail: vimes@vstu.vinnica.ua.

Аннотация. Определено понятие многомерных пространственных данных в геоинформационных системах и поставлена задача их классификации. С помощью ER-модели формализован процесс визуализации автоматической классификации многомерных пространственных данных. Произведено преобразование модели в реляционную модель данных. В терминах модели представлен фрагмент подсистемы визуализации, используемой в авторском программном продукте GisCluster.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ КЛАССИФИКАЦИИ МНОГОМЕРНЫХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ

Многомерными пространственными данными называют совокупность объектов, помещенных одновременно и в географическое, и в атрибутивное признаковое пространства. Под пространственными обычно понимают любые данные, имеющие компонент местоположения. Соответственно, в приведенном выше определении термин "многомерные" относится к атрибутивному признаковому пространству, а термин "пространственные" – к географии рассматриваемых данных. В географическом пространстве объекты – это точки, линии или полигоны. В атрибутивном признаковом пространстве объекты теряют свою географичность и независимо от своей первоначальной природы становятся многомерными точками.

Чаще всего с многомерными пространственными данными работают в географических исследованиях (например, социально-экономических). Элементарным объектом классификации в географии является ОТЕ – операционно-территориальная единица (Трофимов и др., 1985, стр. 13). ОТЕ является географическим синонимом термина прикладной статистики "объект". В качестве ОТЕ могут выступать, например административно-территориальные единицы, населенные пункты, ячейки регулярной или нерегулярной сетки, наложенной на исследуемую территорию.

Обозначим все множество ОТЕ символом $O = \{o_1, \dots, o_N\}$, где o_i – i -я ОТЕ, N – количество ОТЕ. Результатом нахождения ОТЕ в атрибутивном признаковом пространстве обычно является их представление в виде таблицы ОТЕ-признак, отражающей измерение M признаков на N ОТЕ и содержащей N строк и M столбцов.

Целью классификаций многомерных пространственных данных является получение по матрице вида ОТЕ-признак некоторого заранее заданного или не заданного количества групп ОТЕ $S_1, \dots, S_K$ (классов ОТЕ). В пределах каждого класса ОТЕ должны быть максимально "похожи" друг на друга по выбранным признакам, однородны, а ОТЕ из разных классов – максимально "отличаться". Синонимами группы и класса являются также понятия кластера и таксона, а методы получения классов называют методами классификации, кластер-анализа (кластерного анализа), числовой таксономии или распознавания образов.

Результат классификации можно представить N -мерным вектором $v = (v_1, \dots, v_N)$, $v_i \in \{1, \dots, K\}$ принадлежности ОТЕ к одному из классов S_j :

$$v_i = j \Leftrightarrow o_i \in S_j, \quad i \in \{1, \dots, N\}, \quad j \in \{1, \dots, K\}.$$

Специфика классификации многомерных пространственных данных проявляется в наличии сразу двух пространств (атрибутивного признакового и географического), что позволяет совместно с классическими использовать картографические методы визуализации исходных данных, хода и результатов анализа. Кроме того, иногда накладываются ограничения и на применяемые алгоритмы. Например, при анализе пространственных данных часто требуется решать задачу районирования, т.е. деления территории на множество непересекающихся целостных районов, представляющих собой компактные сгущения ОТЕ как в географическом, так и в признаковом пространстве (Блануца, 1993, стр. 3).

По цели в географии выделяют оценочные и типологические классификации. Хотя им могут соответствовать одни и те же математические методы, результаты классификации интерпретируются и визуализируются по-разному.

Оценочные классификации используют для получения нескольких классов $S_1, \dots, S_K$, для которых можно сказать, лучше или хуже представители одного класса представителей другого (а иногда и насколько лучше или хуже). Всегда считается, что классы ОТЕ, полученные в результате проведения оценочной классификации, упорядочены специальным образом, т.е.

$$S_1 \prec S_2 \prec \dots \prec S_K \text{ или } S_1 \succ S_2 \succ \dots \succ S_K.$$

Под обозначением $S_i \prec S_j$ понимается, что любая ОТЕ i -го класса лучше ОТЕ j -го класса по комплексу показателей.

Целью типологических классификаций является получение устойчивых групп ОТЕ в M -мерном признаковом пространстве, т.е. возможных "типов" ОТЕ. В отличие от оценочных классификаций, показатели редко интерпретируются как "хорошие" или "плохие", а результирующие классы могут содержать ОТЕ с "хорошими" значениями по одному показателю и "плохими" по другому. После проведения типологической классификации географами всегда дается содержательная интерпретация каждому классу-типу.

Для проведения оценочных и типологических классификаций многомерных пространственных данных наиболее часто используются ядерные и иерархические методы.

Ядерные методы нацелены на выявление сгущений ОТЕ в признаковом пространстве. Под ядром класса подразумевается некоторая реально существующая или условная наиболее "представительная" ОТЕ, весь комплекс характеристик которой является эталоном данного класса. Часто алгоритмы, основанные на описании классов ядрами, используют процедуру классификации ОТЕ к ядрам по минимальности расстояний:

1. Задаться метрикой d .
2. Найти ядра классов $c_1, \dots, c_K$, $c_i = (c_i^{(1)}, \dots, c_i^{(M)})$, $i \in \{1, \dots, K\}$.
3. Классифицировать все ОТЕ к ядрам $c_1, \dots, c_K$ по минимальности расстояния до них в признаковом пространстве, т.е.

$$o_t \in S_i \Leftrightarrow d(o_t, c_i) \leq d(o_t, c_j) \quad \forall i, j \in \{1, \dots, K\}, \quad t \in \{1, \dots, N\},$$

сформировав систему классов $S = \{S_1, \dots, S_K\}$.

Для формирования ядер классов обычно используют обучающую выборку, по которой находят геометрические центры классов, или применяют специальные формальные процедуры.

Метод k -средних является одним из самых известных ядерных оптимизационных алгоритмов классификации данных. В начале своей работы алгоритм выбирает ядра случайным образом. Далее, после классификации ОТЕ к ядрам по минимальности расстояний, происходит пересчет ядер классов как средних характеристик каждого класса). Это позволяет выйти на реальную структуру сгущений ОТЕ в признаковом пространстве.

Далее исключительно для задач визуализации будем подразделять ядерные методы на итеративные и неитеративные, имея в виду, что итеративные методы (например, k -средних) выдают несколько промежуточных схем классификаций (итераций).

Иерархические методы классификации нацелены либо на последовательное объединение исходных классов ОТЕ в заранее заданное или не заданное меньшее количество классов, либо, наоборот, на расчленение одного или нескольких классов до нужной степени детализации. Процедуры первого типа носят название иерархических агломеративных алгоритмов классификации, второго - иерархических дивизимных алгоритмов классификации.

Результатом работы иерархических алгоритмов классификации является последовательность

разбиений множества O на непересекающиеся классы $\{S^n \mid n=1, \dots, I+1\}$, где I - количество проведенных итераций, S^n - n -я система классов. Обозначим через K_n количество классов в n -й системе, $n \in \{1, \dots, I+1\}$. Тогда для агломеративных алгоритмов $K_n \geq K_{n+1}$, для дивизимных - $K_n \leq K_{n+1}$ $\forall n \in \{1, \dots, I\}$.

Преимуществами иерархических алгоритмов являются возможности их применения без наличия априорной информации о свойствах классов (например, ядер классов или обучающих выборок), модификации для целей географического районирования, применения при неизвестном числе классов и наглядной визуализации хода и результатов классификации на специальном графике, который называется дендрограммой:

На оси X этого графика изображаются ОТЕ (в том порядке, в котором они объединялись или разъединялись), на оси Y – расстояние в признаковом пространстве между вновь объединяемыми или разделяемыми классами. Два объединяемых или разъединяемых класса соединяются П-образной линией. Ее нижние концы упираются в середины двух классов, а длины вертикальных отрезков равны расстоянию между классами.

Существуют и другие графики, которые полезно использовать при проведении любых классификаций.

Для визуализации каждого из признаков используются гистограммы. Они необходимы для визуализации распределения количества ОТЕ в пределах классов. При визуализации единственного признака его значения откладываются по оси X , а по оси Y – количество объектов, попавших в соответствующий интервал. Цвета столбиков соответствуют цветам классов.

Для визуализации одновременно нескольких признаков используются двумерные и трехмерные диаграммы рассеивания. Каждая ОТЕ представляется на диаграмме рассеивания точкой, координатами ее являются значения двух или трех выбранных показателей, на плоскость которых проецируются все исходные данные. Диаграммами рассеивания удобно представлять не только исходные данные, но и результаты классификации. Каждому классу сопоставляется свой цвет, который используется для построения всех диаграмм (включая картограммы). ОТЕ, принадлежащие одному классу, на диаграмме рассеивания получают одинаковый цвет. При большом количестве показателей с помощью одного из методов снижения размерности (например, метода главных компонент) иногда переходят к меньшему числу признаков (например, к двум-трем). После этого можно отобразить конфигурацию ОТЕ-точек в многомерном признаковом пространстве на одной диаграмме рассеивания (т.е. в двумерном или трехмерном евклидовом пространстве).

Линейные диаграммы используются для визуализации качества классификации и профилей получаемых классов. По оси X графика качества откладывается номер итерации, по оси Y – значение функционала качества классификации. Этот график позволяет сравнить между собой несколько схем классификаций, построенных с помощью различных алгоритмов, и выбрать наилучший. Другое его применение – определение истинного количества классов.

При визуализации профилей классов по оси X через равные промежутки откладываются показатели анализа, по оси Y – значения какой-либо характеристики класса для заданного показателя (например, среднего). Каждый класс при этом изображается цветной линией, соединяющей точки графика. Количество линий совпадает с количеством классов, а их толщина – количеству ОТЕ в классе.

2. ГИС КАК СРЕДА АВТОМАТИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ МНОГОМЕРНЫХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ

Почти всегда пространственные данные (ОТЕ) хранятся в ГИС - геоинформационной системе, поэтому ГИС используют в качестве оболочки для их анализа. ГИС определяют различным образом. Наиболее простое определение ГИС приведено в аннотации к (ESRI, 1997, XXX): ГИС - это компьютерная система для сбора, хранения, представления и анализа пространственных данных. С помощью ГИС могут быть выполнены определенные сложные пространственные операции, которые иначе были бы очень сложны, длительны по времени или непрактичны с какой-либо другой точки зрения.

Существуют два способа получения электронных карт: растровый и векторный.

Все плоские картографические объекты векторных карт обычно разбиваются на три класса: точки, линии и многоугольники (полигоны), причем хранятся только узловые точки объектов. Например, точки могут представлять города или события, линии – дороги или реки, полигоны – страны или регионы России. Многообразная информация о какой-то территории организуется в ГИС в виде серии тематических слоев. Каждый слой можно представить нанесенным на прозрачную пленку, итоговая

карта получается наложением этих пленок друг на друга.

При растровом способе значения пространственно-распределенной характеристики территории измеряются в узлах регулярной сетки - таким образом, приходится запоминать таблицы чисел. Этот способ применяется при работе со сканером или обработке космических снимков.

Развитые растровые ГИС (например, американская ERDAS IMAGINE и российская ScanEx) включают подсистему классификации. Чаще всего классификация в них является одним из методов дистанционного зондирования, направленного на распознавание реальных объектов по серии космических снимков. В качестве ОТЕ в растровых ГИС выступает минимальный участок земной поверхности, представленный на снимке отдельной точкой, а его атрибутами (характеристиками) служат цвета, полученные при фотографировании одного и того же участка Земли в различных спектрах (т.е. количество спектров, карт соответствует количеству признаков).

В современных векторных ГИС отсутствуют серьезные средства классификации многомерных данных. Даже новейшая ГИС ArcInfo 8 от мирового лидера ESRI не имеет подсистемы классификации ОТЕ по многим показателям. Шагом вперед по сравнению с предыдущими версиями системы является возможность разбиения ОТЕ на группы по многим показателям при условии полного совпадения значений показателей.

Одним из средств поддержки процесса классификации многомерных пространственных данных является картографическая визуализация. Способы картографической визуализации различаются в зависимости от шкалы, в которой измерены признаки. Для простоты изложения рассмотрим только абсолютные, порядковые и номинальные типы шкал.

Абсолютные (количественные) шкалы характеризуются тем, что значения признаков являются в общем случае вещественными числами. Всегда можно сказать, лучше или хуже по этому признаку одна ОТЕ другой, и насколько. Такие шкалы используются наиболее часто, для них разработано огромное количество алгоритмов классификации.

Значения признаков в порядковых (ранговых) шкалах означают порядковые номера по возрастанию или убыванию проявления изучаемого свойства (ранги). Обычно ранги кодируются натуральными числами от 1 до N (N - количество ОТЕ). По порядковому признаку можно сказать, лучше или хуже одна ОТЕ другой, но невозможно определить, насколько лучше или хуже.

Номинальные (качественные) шкалы характеризуются набором возможных значений (например, "красный", "желтый", "синий"). Эти значения невозможно сравнить между собой на предмет лучше-хуже. Номинальные показатели служат только для отличия одной ОТЕ от другой (по заданному признаку).

Выделим следующие способы картографической визуализации.

1. "Уникальное значение" – определенному значению (или группе значений) показателя назначается картографический символ (цвет, размер, тип, штриховка и т.д.).
2. "Цветовая шкала" – все возможные значения показателя разбиваются на несколько интервалов, каждому интервалу назначается свой цвет. При этом чаще всего насыщенность цвета плавно изменяется от первого класса до последнего. Для случаев трех интервалов иногда используют принцип светофора с цветами красный (плохо), желтый (средне), зеленый (хорошо). При большом количестве интервалов оттенков одного цвета может быть недостаточно, поэтому используют цветовые гаммы, принятые для обозначения высот (от темно-синего до темно-красного с промежуточным зеленым).
3. "Плотность точек" – каждое значение исследуемой характеристики отображается пропорциональным количеством точек.
4. "Локализованная диаграмма" – позволяет отобразить сразу несколько характеристик путем помещения рядом с каждым объектом круговой или столбчатой мини-диаграммы, отражающей значения числовых атрибутов объекта.
5. "Градуированный символ" – размер символа указывает на количественное измерение визуализируемой характеристики. Чем больше значение характеристики объекта, тем больший по размерам символ ему соответствует.
6. "Анаморфозы" – графические изображения, производные от традиционных карт, масштаб которых трансформируется и варьируется в зависимости от величины характеристики явления на исходной карте (Тикунов, 1997).
7. "Изолинии" – представляют в виде рельефа распределение непрерывной характеристики по территории.
8. "Барьеры" – толщина линий между географически смежными ОТЕ-полигонами указывает на расстояния между ними в пространстве признаков.
9. "Подпись" – рядом с каждым объектом размещается значение показателя в текстовом виде.

3. МОДЕЛЬ КЛАССИФИКАЦИИ МНОГОМЕРНЫХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ

При построении подсистемы визуализации программного продукта классификации многомерных пространственных данных GisCluster автором была разработана модель, позволяющая соединять средства визуализации хода и результатов анализа (картографические и классические), алгоритмы, цели классификации, исходные признаки, типы слоев векторных карт и т.д.

Стандартным подходом к формализации предметной области является разработка ER-модели. Для ее построения необходимо выделить типы сущностей, их атрибуты и типы связей между сущностями. Модель, разработанная с помощью пакета Erwin, представлена в стандартных обозначениях Information Engineering (IE) на рис. 1.



Рис.1.

Для упрощения восприятия модели атрибуты сущностей не показаны на ER-диаграмме. Стандартными атрибутами каждой сущности являются уникальные идентификаторы и имена экземпляров. Дополнительные атрибуты имеют сущности "Средство визуализации" и "Алгоритм".

Атрибут "Время" сущности "Алгоритм" обозначает оценку временной сложности класса алгоритмов. Он необходим для выбора алгоритма при больших объемах данных.

Для различения картографических и классических средств визуализации введен атрибут "Карта" ("Map"). Атрибут "Многомерность" ("Multi") указывает на возможность средства визуализации отображать одновременно несколько признаков. Атрибут "Важность" или "Воспринимаемость" ("Imp") задается экспертным образом и означает степень предпочтения использования одного средства визуализации перед другим.

Для того, чтобы иметь инструмент разработки предметной области, необходимо выбрать модель данных. Модель данных определяется допустимыми структурами данных, ограничениями целостности и операциями манипулирования данными. Для практической реализации ER-модели примем реляционную модель данных.

Вместе с описанием структуры реляционной базы данных, в целях экономии места приведем только некоторые полученные экспертным путем возможные экземпляры сущностей и связей. Вообще говоря, проецировать ER-модель на реляционную модель данных можно различными способами. Типы связей один-ко-многим и один-к-одному будем представлять атрибутами, типы сущностей и связей многие-ко-многим – таблицами-отношениями. Иногда в таблицу связи будем вводить атрибут ее важности.

4. ТИПЫ СУЩНОСТЕЙ, ИХ АТТРИБУТЫ И ЭКЗЕМПЛЯРЫ

Связь один-к-одному "Интерпретация результатов" между сущностями "Цель классификации" и "Шкала" моделируется атрибутом "ID_Scale".

Цель классификации (Target)		
ID	Название	ID_Scale
types	Типология	name
estim	Оценка	rang

Шкала (Scale)	
ID	Названия
name	Номинальная, качественная
rang	Ранговая, порядковая
abs	Абсолютная, количественная

Экземпляры сущности "Признак" задаются непосредственно перед началом классификации. Поскольку каждый признак измерен в своей шкале (что накладывает ограничения, например, на способ его визуализации), вводится связь типа многие-к-одному "Шкала измерения признака" между сущностями "Признак" и "Шкала". Эта связь моделируется атрибутом "ID_Scale" сущности "Признак".

Признак (Factor)		
ID	Название	ID_Scale
nm	Название ОТЕ	name
ned	Количество недействительных бюллетеней	abs
...	...	...
no	Доля бюллетеней без отметок	abs

Карта (Map)	
ID	Название
Point	Точка
Line	Линия
Polygon	Полигон

Тип алгоритма классификации (Algorithm)		
ID	Название	Время
kernel	Ядерные	0
k_iter	Ядерные итеративные	2
hierar	Иерархические	2

Объект визуализации – одна из ключевых сущностей. Ее экземплярами являются те промежуточные итерации и результаты, которые подлежат визуализации при работе алгоритма классификации.

Объект визуализации (Step)		
ID	Описание объекта	Комментарий
kernel	Ядра классов	Необходимо отобразить наиболее представительные ОТЕ классов (ядра, средние, геометрические центры).
sheme	Схема классификации	Для заданного количества классов получен вектор принадлежности $v = (v_1, \dots, v_N)$, $v_i \in \{1, \dots, K\}$.
interim	Промежуточный результат	Процесс формирования классов еще не завершен, т.е. $\exists o_i \in O: v_i = 0$.
quality	Качество классификации	Позволяет оценить качество классификации.
dendro	Ход иерархических алгоритмов	Визуализирует последовательность объединения ОТЕ в классы и межклассовые расстояния.

Средство визуализации (Visual)				
ID	Название	Map	Multi	Imp
color	Цветовая шкала	1	0	2
...	...	...	...	...
dendro	Дендрограмма	0	0	1

6. СВЯЗИ МНОГИЕ-КО-МНОГИМ

Помимо факта возможности использования алгоритма классификации для заданной цели, введем атрибут "Вес", имея в виду степень целесообразности применения алгоритма. В текущей версии программы GisCluster каждый алгоритм можно использовать для любой цели классификации. Географы рекомендуют использовать для типологических классификаций ядерные алгоритмы, для оценочных – иерархические (Тикунов, 1997, стр. 22), что и отражено в таблице.

Возможность использования алгоритма классификации для заданной цели классификации (Algorithm_Target)		
ID_Alg	ID_Target	Bec
kernel	types	2
...	...	...
hierar	estim	2

Данная связь является ключевой в модели, поскольку аккумулирует информацию о том, что необходимо визуализировать при работе конкретного алгоритма.

Объект визуализации хода и результата работы алгоритма (Algorithm_Step)		
ID_Alg	ID_Step	Варианты визуализации
Kernel	kernel	Отображать выделенные ядра классов.
...	...	...
Hierar	sheme	Отображать результат работы алгоритма для каждого количества классов $K \in \{1, ..., N\}$.

С точки зрения визуализации шаги kernel, interim и sheme одинаковы. От средства визуализации требуется всего лишь отображать меньшее количество ОТЕ и рассчитывать характеристики для некоторого подмножества ОТЕ. Например, при картографической визуализации цвет назначать только ядрам или уже классифицированным ОТЕ, профили рассчитывать для подмножества ОТЕ (только для ядер или для классифицированных ОТЕ) и т.д. Обозначим символом "any" элемент множества $A = \{\text{kernel}, \text{interim}, \text{sheme}\}$, т.е. $\text{any} \in A$. Под строкой, содержащей этот символ, будем понимать три строки (по одной для каждого шага визуализации).

Отображение средствами визуализации объекта визуализации (Visual_Step)	
ID_Vis	ID_Step
un_val	any
...	...
dendro	dendro

Отображение средством визуализации показателя, измеренного в заданной шкале (Visual_Scale)	
ID_Vis	ID_Scale
un_val	name
...	...
profile	abs

Применимость картографич. средства визуализации к заданному типу слоя карты (Visual_Map)	
ID_Vis	ID_Map
un_val	point
...	...
bariers	polygon

Любой классический метод может быть связан с каждым из картографических, поэтому поле "ID_Vis" везде имеет значение "any". Это означает, что для каждого картографического метода должны быть добавлены подобные строки.

Ассоциация классических методов визуализации с картографическими (Visual_Visual)		
ID_Vis	ID_Vis	Комментарий
scatter1	any	При выборе точки на диаграмме рассеивания подсвечивается соответствующая ей ОТЕ на карте, и наоборот.
...	...	...
quality	any	При клике на точке графика на карте отображается соответствующий шаг алгоритма, т.е. нужная карта.

7. ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ

Формализация предметной области позволила реализовать в системе GisCluster необходимые функции визуализации в отдельности и корректно применять их в зависимости от настроек и данных

пользователя.

При проведении классификации всегда имеются исходные данные (признаки и векторная карта), а также ставится цель классификации. Модель позволяет определить:

- возможные и наиболее предпочтительные способы картографической визуализации заданного признака через определение шкалы признака, выбора для него допустимых средств визуализации (связи "Измерен" и "Отображается") при ограничении, накладываемом типом карты (связь "Позволяет использовать");
- возможные и наиболее предпочтительные способы некартографической визуализации заданного признака;
- картографические и классические способы визуализации одновременно нескольких признаков;
- множество допустимых и рекомендуемых алгоритмов классификации для заданной цели классификации (связь "Возможность использования");
- объекты визуализации хода и результатов классификации данных при использовании определенного алгоритма (связь "Ход и результаты работы");
- способы визуализации конкретного шага или результата работы алгоритма;
- наличие и суть связи между классическими и картографическими средствами визуализации.

Ответы на приведенные вопросы в автоматическом режиме можно получить с помощью языка манипулирования данными. Для реляционной модели данных существуют алгебраические языки и языки исчисления, к последнему типу языков относится SQL.

С использованием SQL первый запрос, например, выглядит следующим образом:

```
SELECT Visual.* FROM Factor, Visual, Visual_Scale, Visual_Map
WHERE Factor.ID_Scale=Visual_Scale.ID_Scale AND Visual_Scale.ID_Vis=Visual.ID AND
Visual_Map.ID_Vis=Visual.ID AND Visual.Map=1 AND Factor.ID='ned' AND Map.ID='polygon' AND
Visual.Multi =0 ORDER BY Visual.Imp DESC
```

Модель может быть легко дополнена новыми алгоритмами классификации, средствами визуализации и т.д. В терминах ER-модели это соответствует введению новых экземпляров сущностей, для реляционной модели данных – добавлению кортежей в существующие отношения. Описанная модель никак не привязана к ГИС. Она может стать основой для построения подсистемы визуализации классификации многомерных пространственных данных, например, в пакете Matlab, содержащем модуль картографирования Mapping Toolbox, или в любой другой системе, имеющей соответствующие возможности визуализации. Функции картографической визуализации могут быть также встроены в существующую систему с помощью одного из пакетов картографических библиотек, например, Map Objects.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блануца В.И. Интегральное экологическое районирование: концепция и методы. – Новосибирск, ВО "Наука", 1993, 159 с.
2. Дейт Л. Дж. Введение в системы баз данных. Пер. с англ. – К.: Диалектика, 1998.
3. Изучение ГИС. Создание географических информационных систем с помощью персональных компьютеров. Методология Arc/Info. – Калифорния, Институт исследований систем окружающей среды (ESRI), 1997.
4. Кальянов Н.Г. CASE структурный системный анализ (автоматизация и применение). – М: "ЛОРИ", 1996.
5. Тикунов В.С. Классификации в географии: ренессанс или увядание? – Смоленск, Изд-во СГУ, 1997, 367 с.
6. Трофимов А.М., Заботин Я.И., Панасюк М.В., Рубцов В.А. Количественные методы районирования и классификации. – Казань: изд-во Казанск. ун-та, 1985, 120 с.

Надійшла до редакції 12.12.2001

ЗАВАРЗИН А.В. – ведущий инженер-программист ГИС-ассоциации Российского государственного университета нефти и газа.

МЕСЮРА В.И. – к.т.н., доцент кафедры интеллектуальных систем Винницкого государственного технического университета.