

Е. Е. ШИРЯЕВ

**НОВЫЕ МЕТОДЫ
КАРТОГРАФИЧЕСКОГО
ОТОБРАЖЕНИЯ
И АНАЛИЗА
ГЕОИНФОРМАЦИИ
С ПРИМЕНЕНИЕМ
ЭВМ**

Е. Е. ШИРЯЕВ

528

НОВЫЕ МЕТОДЫ
КАРТОГРАФИЧЕСКОГО
ОТОБРАЖЕНИЯ И АНАЛИЗА
ГЕОИНФОРМАЦИИ
С ПРИМЕНЕНИЕМ
ЭВМ

2187



МОСКВА «НЕДРА» 1977



Ширяев Е. Е. Новые методы картографического отображения и анализа геoinформации с применением ЭВМ. М., «Недра», 1977. 182 с.

В книге излагаются новые методы картографического отображения информации, учитывающие разрешающую способность и логические возможности машин при построении и чтении карт. Описываются технические средства и способы автоматического составления и чтения карт. Последние рассматриваются в тесной связи с задачами научной интерпретации отображаемой информации. В заключительной части монографии приводятся некоторые способы анализа картографической информации при исследовании природных и социально-экономических явлений.

Монография рассчитана не только на картографов, но и на географов, геологов, геофизиков, экономистов и других специалистов, занимающихся вопросами применения картографических методов для отображения и анализа информации. Она может быть использована также студентами и преподавателями в учебном процессе.

Ил. 48, список лит. — 87 назв.

Ш $\frac{20701-297}{043(01)-77}$ 337-77

ПРЕДИСЛОВИЕ

Значение картографии, особенно в изучении природы и общества, за последнее время неизмеримо возросло. Этому способствовало не только повышенное внимание к изучению природных ресурсов в связи с космическими исследованиями, но прежде всего достижения самой картографии в математизации и автоматизации процессов отображения, хранения, поиска и анализа информации о Земле и небесных телах. Благодаря автоматизации этих процессов, обеспечивающей эффективную обработку геоинформации, а также особенностям картографической формы ее передачи, являющейся наиболее доступной для быстрого восприятия, усвоения и переработки человеком, картографические методы становятся в разряд лучших средств изучения и исследования природных и общественных явлений.

Монография посвящена вопросам разработки новых методов картографического отображения геоинформации (учитывающих возможности восприятия изображения не только человеком, но и машинной) и создания автоматизированной системы построения, машинного чтения и анализа карт при проведении всевозможных исследований природных и социально-экономических явлений. В монографии рассматриваются способы полной автоматизации процессов отображения и анализа геоинформации, начиная с машинного чтения исходной карты и кончая составлением производной карты или получением численных данных в результате анализа картографической информации. Эти разработки имеют не только теоретическую, но и практическую реализацию.

При написании монографии основной акцент сделан на методы повышения эффективности использования карт с применением современных средств автоматики. Особенно обращалось внимание на то, чтобы новые методы картографического отображения информации упрощали процесс построения карты, обеспечивали надежное машинное распознавание знаков с возможностью идентификации в одномерном пространстве (т. е. по одной строке развертки сканера) и при этом сохраняли традиционную наглядность представления информации.

Когда карта становится доступной для чтения не только человеком, но и машиной и при том сохраняется ее привычная наглядность и образная форма представления геоинформации, тогда открываются самые широкие возможности для автоматизации анализа карт, т. е. для исследования природных и социально-экономических явлений с использованием современных средств кибернетики. Карта в этом случае выполняет

функцию общего, универсального языка для человека и машины (при этом исключается необходимость перевода информации на промежуточные долговременные машинные носители типа магнитной ленты, перфоленты).

Все методы отображения информации, способы автоматического построения, чтения и анализа карт, помещенные в монографии, предложены и разработаны автором (небольшая часть разработок в главах IV.16, V.18, VI.24, VII.25 выполнена совместно с другими специалистами).

Ввиду ограниченности объема монографии не представилось возможным уделить должного внимания всем тем оригинальным разработкам по автоматизации и теории картографии, которые появились за последние годы.

Рассмотренный в монографии материал — начало нового направления, по которому еще нужно много сделать, особенно в плане практической реализации отдельных разработок и внедрения их в производство.

В данной монографии некоторые вопросы имеют дискуссионный характер, поэтому автор будет признателен всем, кто выскажет свои критические замечания.

Отзывы и пожелания направлять по адресу: 103633, Москва, Третьяковский проезд, 1/19, изд-во «Недра».

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПО КАРТОГРАФИЧЕСКИМ МЕТОДАМ ОТОБРАЖЕНИЯ И АВТОМАТИЗАЦИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАРТ ПРИ ИЗУЧЕНИИ И ИССЛЕДОВАНИИ ПРИРОДНЫХ И СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ

Картографию можно рассматривать с двух точек зрения: 1) картографическое отображение информации и 2) использование карт. Потребность в разработке методов и средств использования картографической информации, отвечающих современному уровню достижения науки и техники, сегодня назрела довольно остро. Эффективность практического использования картографической информации можно считать основным стимулирующим фактором, как в создании карт вообще, так и в развитии картографии в целом. Этим определяется ее полезность и способность конкурировать с современными некартографическими методами машинного анализа геоинформации, представляемой в цифровом виде. Под термином «геоинформация» подразумевается пространственная информация о природных и социально-экономических явлениях Земли и небесных тел, главным образом в ее наиболее общих структурах, формах, связях, закономерностях, включая макро-, мезо- и микромир.

В развитии обоих направлений большую роль играют применяемые методы отображения информации (МОИ). От МОИ в определенной степени зависит, с одной стороны, детальность, точность и достоверность информации, а с другой — возможность автоматизации процесса исследования по картам. От того, в какой степени информация на карте по своей форме окажется пригодной для ее автоматического считывания и обработки на ЭВМ, зависит эффективность ее использования. В этой связи вопрос разработки МОИ необходимо рассматривать комплексно, во взаимосвязи с разработкой технических средств считывания, алгоритмов распознавания и обработки на ЭВМ.

1. ВОЗМОЖНОСТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КАРТЫ КАК НОСИТЕЛЯ ГЕОИНФОРМАЦИИ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ РАЗВИТИЯ НАУКИ И ТЕХНИКИ

Современна ли карта как носитель геоинформации? Отвечает ли она требованиям нашего времени — времени глобального изучения нашей планеты Земли и планет Солнечной системы, когда для получения первичной информации о геосферах при-

меняются космические летательные аппараты, а для ее обработки — быстродействующие вычислительные машины? На поставленные вопросы можно ответить и положительно, и отрицательно. Положительно потому, что карта продолжает оставаться лучшим средством передачи геоинформации человеку для ее визуального анализа. Отрицательно потому, что традиционная карта является неудобным носителем геоинформации для передачи и анализа машинными средствами. Если для человека традиционная картографическая форма представления информации является привычной и удобочитаемой, то для машины она является очень сложной. Это и понятно, так как традиционная карта всегда проектировалась в расчете только на чтение ее человеком без использования машин, и поэтому она оказалась малоприспособленной для машинного чтения и анализа. Это обстоятельство является причиной того, что за последнее время в ряде областей наук о Земле результаты полевых съемок предпочитают регистрировать сразу в цифровом виде на носителях, удобных для ввода в ЭВМ, с целью последующего машинного анализа, т. е. минуя картографическую форму представления информации. В этом случае, если карта и составляется, то для выполнения лишь иллюстративных функций*.

Опыт работы показал, что задача машинного чтения карты может существенно упроститься, если ее (карту) приспособить к техническим и логическим возможностям машин** [50, 7, 75, 25, 86].

В настоящее время в области кибернетики стоит первоочередная задача — разработать такие формы представления данных для ввода в ЭВМ, которые были бы доступны и человеку, и машине. От формы представления информации зависит эффективность диалога человека с машиной, его взаимодействие с ЭВМ и считывающими автоматами в процессе их совместной работы. В этом отношении ведущая роль принадлежит именно графической форме отображения информации. Такова точка зрения ведущих советских и зарубежных ученых в области технической кибернетики [14, 31, 42].

Основной задачей в машинной обработке карт является распознавание знаков. Следует обратить внимание на тот факт, что чем логичнее и оптимальнее по строгости графических построений знаки для зрительного восприятия, тем легче они формализуются для распознавания их машиной. Однако маши-

* Здесь не следует смешивать геоинформацию, представленную в виде цифровых моделей, с картографической информацией, преобразованной в цифровой вид.

** Впервые идея создания карт, приспособленных для машинного чтения, была изложена автором в двух изобретениях с приоритетом от 8 января и 13 марта 1964 г. [44].

ны имеют свою специфику, обусловленную ее «младенческим разумом» и несовершенством ее входных каналов восприятия информации. В этой связи возникает необходимость разработать такие системы знаков, которые бы надежно распознавались машиной и в то же время хорошо читались визуально. Картографический язык, учитывающий эти требования, будем называть *формализованным*, а карты, использующие его, — *нормализованными*. Под формализованным картографическим языком будем понимать систему графо-математических и алгоритмических способов и приемов отображения и чтения геоинформации на основе картографических принципов моделирования, учитывающих возможности восприятия и обработки ее (геоинформации) визуально и машиной.

Для успешного решения проблемы создания формализованного языка необходимо внести соответствующие изменения в весь технологический комплекс процессов получения карты (а не только в оформление карт, как полагают некоторые картографы). Комплексная разработка технологических процессов проектирования карты, ее составления и издания во взаимосвязи с разработкой технических средств и алгоритмов автоматического чтения изображения представляется наиболее правильной при решении этой сложной проблемы. Это отвечает задаче, поставленной ГУГКом перед картографической службой еще в 1967 г. [16].

Обычно распознавание графической информации осуществляется в двумерном пространстве по ее графическому образу (чаще всего по контуру фигуры). Для осуществления логико-математической процедуры распознавания в большинстве случаев используется ЭВМ, а на считывающее устройство возлагаются функции преобразования графического изображения в цифровой код машины. Нередко в процессе считывания и распознавания основное машинное время уходит на операцию по распознаванию образов, а не на решение исследовательских задач, для которых это опознавание осуществляется. Иногда из-за длительности процедуры распознавания решение исследовательских задач таким путем оказывается экономически нецелесообразным.

Изучение этого вопроса, с точки зрения разработки нормализованных карт, показало, что поскольку мы свободны в выборе и построении систем знаков и технических средств считывания, то для обеспечения более высокой эффективности машинной обработки картографической информации необходимо, чтобы методы отображения информации, с одной стороны, а считывающие устройства, с другой, позволяли осуществлять распознавание информации в машине сразу в процессе однострочной развертки, т. е. в одномерном пространстве.

Проведенные автором исследования показали, что если отображение информации на карте будет иметь такую форму, при

которой окажется реальным считывание и распознавание в одномерном пространстве, то при этом станет возможным:

1) одновременное считывание и анализ нескольких карт с обработкой информации на ЭВМ или на специальных счетно-решающих устройствах (например, корреляторах) в реальном масштабе времени с высокой оперативностью;

2) создание относительно несложных алгоритмов распознавания на ЭВМ или создание читающих устройств, при которых ЭВМ может быть полностью освобождена от функций распознавания информации, благодаря чему машина сможет целенаправленнее и оперативнее решать исследовательские задачи;

3) автоматически производить различные работы картометрического характера, например, измерение длин линий, площадей и пр. без применения ЭВМ.

Поэтому при разработке новых методов отображения информации и способов машинного чтения учитывалась возможность распознавания картографической информации в одномерном пространстве. Основные функции распознавания сводились к обеспечению возможности считывания информации избирательно (выборочно) по качественным признакам и по отдельным количественным параметрам модели в процессе сканирования (построчной развертки).

Для нормализованных карт как емких аккумулирующих накопителей информации следует выработать оптимальные требования создания детальной и точной формы отображения информации. С этой целью необходимо: 1) установить графические и технические требования к точности и детальности построения изображения; 2) увязать детальность и степень генерализации с масштабом карт в математическом, графическом и психологическом отношениях; 3) независимо от содержания информации установить единые требования к форме ее отображения как в изобразительном смысле, так и с учетом возможности чтения и анализа ее одним и тем же стандартным комплексом специализированных автоматических устройств и программ.

В качестве основного метода отображения геоинформации, отвечающего требованиям, предъявляемым к формализованному картографическому языку, предлагается *метод растровой дискретизации* (МРД) [45, 52, 55, 68 и др.].

Особенность отображения информации по МРД состоит не только в несложной процедуре машинного распознавания знаков (даже при наличии топографической основы), но и в простоте программ построения растровых карт, причем в достаточно наглядном представлении картографируемых явлений. Последнее подтвердилось не только нашими опытами [63], но и разработками зарубежных авторов [84].

Для создания нормализованных карт, полностью сохраняющих некоторые традиционные изображения, предлагается метод

скрытого оптического кодирования информации (МСК), использующий свойства люминесценции (МСК рассмотрен в гл. IV) [44, 47, 50, 51 и др.]. Наиболее перспективным представляется способ создания нормализованных карт изолиний и стереоскопических карт со скрытым оптическим кодом [48, 49].

Предлагаемые методы отображения информации обеспечивают, с одной стороны, возможность создания нормализованных карт, внешне почти не отличающихся от традиционных, причем может полностью сохраняться существующая унификация легенды (например, на геологических картах), а с другой стороны, — разработки новых типов карт с более высокой детальностью, точностью и новыми возможностями автоматического анализа геонформации.

Следует обратить внимание на то, что нормализованная карта может одновременно являться носителем не только графической, но и цифровой информации, которая может автоматически считываться и вводиться в ЭВМ так же, как и с ДЗУ. Причем цифровая запись на карте может быть в виде нормализованных цифр, легко читаемых человеком.

В последнее время наметилось деление тематических карт на *аналитические* и *синтетические*. Учитывая то, что основные задачи нормализованной карты — с высокой точностью детально и достоверно отображать исходную информацию для ее последующего считывания и анализа человеком и машиной, ее можно отнести к картам аналитического типа. Отсутствие единства в отображении детальности и точности информации в используемых системах знаков и математической основе традиционных аналитических карт неприемлемо для нормализованных карт. Что касается различных синтетических карт, то они могут иметь произвольную форму изображения, по возможности более образную и наглядную для зрительного восприятия, так как эти карты, являясь конечным продуктом исследований, в меньшей степени будут подвергаться дальнейшей обработке и анализу. На нормализованных картах аналитического типа машинному чтению и анализу будут подвергаться только специальные элементы содержания.

Вопрос нормализации топографических карт требует особого рассмотрения. Если исходить из эффективности использования топографических карт с применением автоматизации для изыскательских, научно-исследовательских и других целей, то нет необходимости нормализовывать всю информацию, которая отображается на карте.

Важнейшими элементами содержания топографической карты, нуждающимися в нормализации, являются рельеф, гидрография и растительный покров. Эти элементы содержания карты в значительной степени могут быть нормализованы уже в настоящее время.

Нормализация географических названий на картах фактически не нужна, так как при научных исследованиях или инженерно-изыскательских работах с помощью машины информацией для обработки является не название объекта, а его качественная и количественная характеристика.

Следует ли придавать большое значение визуальной читаемости и наглядности нормализованной карты, как это делается для традиционной, если учесть, что считывание и обработка картографической информации с одновременным распознаванием объектов по их качественным признакам будет осуществляться средствами автоматике с детальностью, точностью и скоростью, значительно превышающей процесс визуального восприятия? Сохранение определенного уровня наглядности нормализованной карты необходимо. Картографическое моделирование представляет собой совершенно особую область моделирования, где непременно требуется прямая связь человека с моделью, которая диктуется необходимостью ориентации и общим восприятием изучаемых явлений, имеющих сложный, часто случайный характер распространения. Эта связь необходима для задания по карте области считывания определенного класса объектов или явлений. Эта связь неизбежна, так как неотъемлемы операции связи человека с машиной при управлении кибернетической системой. Основной задачей этих операций является построение кибернетической модели, посредством которой в итоге будут получены результаты или в цифровом виде, например коэффициент корреляции, или в графическом, например карта прогноза.

Лишить карту наглядности, т. е. по существу отделить процесс визуального анализа модели,— это значит лишить человека полного, целостного и образного осмысления сущности протекания процесса. В наглядности, можно сказать, и состоит основное достоинство карты как носителя геоинформации.

Как носитель геоинформации нормализованная карта выгодно отличается от известных машинных носителей (например, магнитной ленты) в следующих отношениях:

- 1) привычностью и наглядностью восприятия информации;
- 2) доступностью широкому потребителю;
- 3) возможностью упрощения взаимодействия человека с машиной при обработке геоинформации;
- 4) возможностью произвольной выборки заданной информации;
- 5) возможностью оперативного размножения в неограниченных количествах с помощью серийного полиграфического оборудования;
- 6) невысокой стоимостью носителя;
- 7) своей относительно высокой информационной емкостью (в особенности если карты хранятся на микрофильме).

2. КАРТА КАК МОДЕЛЬ ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ И ВОЗМОЖНОСТИ ЕЕ АНАЛИЗА АВТОМАТИЧЕСКИМИ СРЕДСТВАМИ

Объяснение карты как модели и ее определение известны из работ многих авторов. В теории моделирования обычно рассматриваются два основных типа моделей — *наглядная модель*, или иначе *физическая модель*, и *математическая модель* (или более общая — *символическая модель*). С точки зрения применения электронной вычислительной техники считается, что математическое моделирование является наиболее перспективным.

В географии, геологии, геофизике наряду с физическими и математическими моделями применяются разнообразные модели другого типа, занимающие промежуточное положение между физической и математической моделью. Одним из самых распространенных методов моделирования геосфер является картографическое. Исходя из позиций общего определения моделей, карту можно отнести к символическим моделям. Следует заметить, что математические модели относятся к классу символических. Ведущие ученые в области кибернетики в работе [35] к математическим моделям относят также «... схемы, отображающие количественные и качественные стороны потоков информации...». В связи с этим карту можно отнести к подклассу математических моделей.

Однако, подвигаясь к более конкретным позициям и учитывая то, что карта одновременно отвечает принципам графического и математического моделирования, ее можно назвать графоматематической моделью, использующей для передачи геоинформации свой, присущий только картографии язык. Это делает ее самостоятельной, выдвигая в разряд особых моделей.

Карта как модель может быть одновременно и гносеологической, и информационной. Гносеологичность карты состоит в возможности с помощью карт как пространственных графоматематических моделей и специальных методов исследования устанавливать объективные закономерности природных и общественных процессов. Информационность карты как модели состоит в способности карты хранить сведения об объектах или явлениях в виде графических сигналов и передавать их с целью разработки методов управления и средств воздействия на природные и общественные процессы.

Интерпретируя карту как модель, можно записать, что полное картографическое моделирование характеризуется соотношением параметров модели S_i и картографируемых объектов N , которое можно представить в виде следующей сложной функции:

$$S_i = m_i \Phi_i [N'_1(l_B, l_L, l_H, t), N'_2(l_B, l_L, l_H, t), \dots, N'_n(l_B, l_L, l_H, t), g_i(l_B, l_L, l_H, m, t)] \quad (I.1)$$

где m_i — масштабный коэффициент; g_i — величина, учитывающая изменение параметров за влияние генерализации; N'_1, N'_2, \dots, N'_n — параметры объектов; l_B, l_L, l_H — пространственные координаты, соответственно по широте B , долготе L и высотной отметке H ; t — время.

Поскольку карта в некотором смысле представляет собой статичную модель, то временное протекание процесса в ней как бы отсутствует. При изучении какого-либо явления строят и сопоставляют несколько карт, разделенных временным интервалом картографирования этого явления. Иногда изменение параметров объектов во времени находит свое отображение на одной карте, и тогда этот параметр приобретает свое конкретное значение (обычно в дискретной форме).

Возникает вопрос, обеспечивает ли карта как модель необходимую для тех или других исследований степень подобия с объектом моделирования? Из теории подобия следует, что у объектов, подобных в том или ином смысле, можно найти определенные сочетания параметров, называемых критериями и имеющих одинаковые значения. Считается, что если явления характеризуются во времени и пространстве с доступной и необходимой для данного исследования полнотой, то в этом случае условия будут критериями полного подобия. Очевидно, что из карт различных масштабов наиболее близко удовлетворяют данному условию крупномасштабные, позволяющие дать наиболее полную характеристику объекта, особенно в его геометрическом отношении. Уменьшение масштаба карты приводит к необходимости обобщения изображаемых явлений, а это в определенной степени сказывается на сохранении их геометрического подобия. Воспроизвести на карте модель, точно соответствующую реальной действительности, хотя бы в геометрическом отношении, часто бывает трудно или же просто невозможно (это в равной степени относится и к другим методам моделирования). Объекты, не изображающиеся в масштабе карты, показывают немасштабным знаком, что особенно отрицательно сказывается на подобии. В целях повышения степени подобия в работах [57, 63] делается попытка применить принцип мульти-масштабного отображения объектов, не изображающихся в масштабе карты. По этой методике контуры, не изображающиеся в масштабе карты, даются в других масштабах дифференцированно, в зависимости от их площадных размеров. Такой тип карты можно назвать условно подобной моделью, так как в ней подобие выявляется при введении переменных масштабов. Следует заметить, что при этом достигается большее подобие, так как имеется возможность установить соответствие между параметрами оригинала и модели. Такое подобие можно назвать *квaziподобием*.

Для достижения эффективности процесса автоматизации ис-

следований объектов или явлений по картам с помощью кибернетических средств необходимо совместное картографо-кибернетическое моделирование. Под *картографо-кибернетическим моделированием* будем понимать процесс построения картографической модели на основе формализованного языка с последующим преобразованием ее в кибернетическую модель, включающую алгоритмы обработки информации.

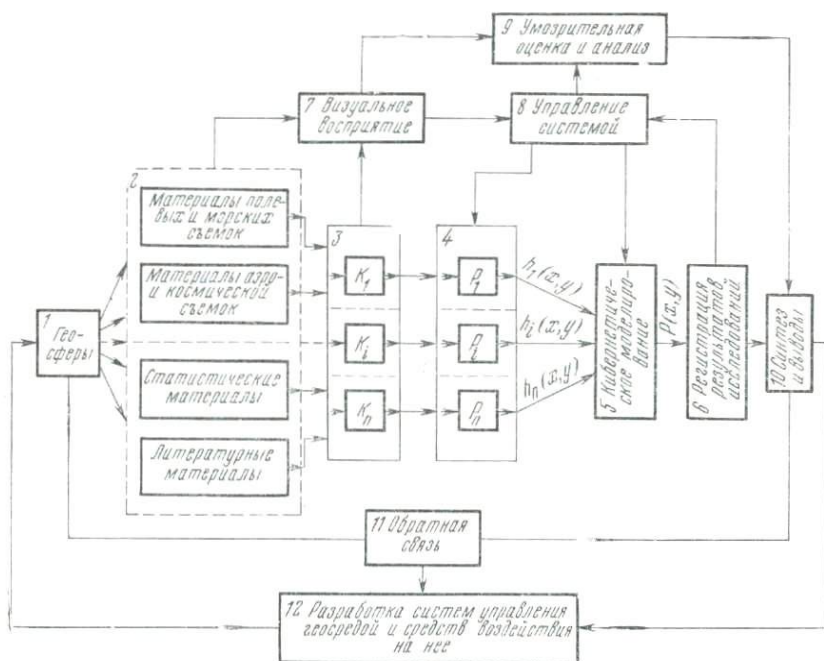


Рис. 1

Рассмотрим обобщенную схему исследования явлений и процессов геоферы на основе картографо-кибернетического моделирования (рис. 1). Изучение объектов геоферы 1, как обычно, начинается с получения первичной информации 2 непосредственно в виде полевых съемок, аэрофотосъемок, сбора статистических сведений и пр. Сам же процесс картографического моделирования 3 осуществляется на основе первичной информации. Эти процессы создания карт в определенной степени автоматизированы [22, 72, 73, 76, 77, 85 и др.]. При автоматическом создании нормализованных карт $K_1, \dots, K_2, \dots, K_n$ отображение информации (главным образом, проектирование систем знаков) должно быть в соответствии с принятой формализацией языка [65].

Второй процесс состоит в автоматическом преобразовании картографической модели в кибернетическую. Управление этим процессом осуществляется из блока 8 оператором на основании визуально полученной информации из блока 3, т. е. из комплекса нормализованных карт. В функции управления этим процессом входит выбор класса объектов или задание области для машинного избирательного считывания, ввода в ЭВМ и построения кибернетической модели по заданным входным переменным функциям, считанным из комплекса карт

$$h_1(x, y), \dots, h_i(x, y), \dots, h_n(x, y).$$

В блок 4 входят автоматические устройства избирательного (выборочного) считывания информации $P_1, \dots, P_i, \dots, P_n$, включающие функции распознавания информации по качественным признакам. Кибернетическое моделирование осуществляется в ЭВМ или специализированных вычислительных устройствах 5 управлением по соответствующим алгоритмам и программам из блока 8.

Третий процесс включает умозрительную оценку и анализ 9 визуально воспринятой информации 7 (с учетом регистрации результатов исследования 6), а затем синтез и выработку предварительных решений 10 на основании полученных результатов на выходе машины и результатов анализа, проведенного оператором, учитывающим не только непосредственный зрительный анализ нормализованных карт, но и свой накопленный опыт и знания.

Наконец, четвертый процесс предполагает установление обратной связи 11, которая включает контрольную проверку в натуре, например, при геологических исследованиях — проведение контрольного бурения. Очевидно, что только после проверки научной достоверности сделанных выводов возможна разработка методов управления и средств воздействия на объекты или явления геосферы. На основании полученной таким образом информации (по линии обратной связи) и ранее полученных выводов и решений осуществляется разработка систем управления процессами и явлениями геосферы 12.

Так представляются в общем виде функции автоматизированной системы исследования природных и социально-экономических явлений на геосфере, в которой в качестве исходной (задающей) информации при построении кибернетической модели выступают нормализованные карты. В рассмотренной системе многие блоки можно считать реализованными. Правда, такой единой отлаженной системы пока еще не существует (известные картографические системы имеют другую направленность).

В рассматриваемой системе процесс построения кибернетической модели включает построение математической модели,

т. е. создание алгоритмов автоматической обработки анализируемой геоинформации.

Построение математической модели объекта может выполняться различными способами: по результатам логического анализа, теоретических исследований, предыдущего опыта (что наиболее характерно для геолого-географических исследований) и пр.

Основными задачами исследования по картам могут быть: изучение взаимосвязей и взаимозависимостей явлений геосфер; прогнозирование одних явлений (преимущественно труднодоступных для непосредственного исследования) по другим явлениям; изучение динамики протекания природных и социально-экономических явлений во времени и пространстве и пр.

В практике наиболее широкое применение получили методы корреляционного и информационно-логического анализа по картам. Достаточно глубокое и всестороннее развитие эти методы получили в работах [82, 7, 81, 8, 38, 39 и др.].

К настоящему времени картография располагает разнообразными методами и приемами анализа информации по картам. Наибольшее развитие математические методы получили за последние годы. Довольно полную картину современного состояния этой проблемы с историческим экскурсом можно получить из обзора методов использования карт в работе [83]. Многие работы отражают математические аспекты исследований по картам и лишь в немногих из них даются алгоритмы обработки на ЭВМ. При этом заметим, что фактически нет работ, посвященных полной автоматизации (включая ввод в ЭВМ) процессов исследований по картам. Как уже отмечалось, наиболее сложной и пока еще не решенной проблемой является автоматическое чтение карт. Поэтому ввод в ЭВМ осуществляется в основном вручную, а это представляет собой очень трудоемкую операцию. Последнее обстоятельство является серьезным тормозом в применении методов исследований по карте. В этой связи следует отметить, что построение автоматизированной системы на основе нормализованных карт и формализации языка решает эту проблему на уровне полной автоматизации.

Картография, которая по своим целям решения задач близка к точным техническим наукам, должна сделать в этом направлении более решительные шаги — вооружить отрасли науки и производства, занимающиеся изучением Земли и космоса, более совершенными, точными средствами и методами исследований, в особенности если учесть те проблемы, которые поставлены перед современной географией и геологией ведущими учеными [13, 33].

Рассмотренная система исследований по нормализованным картам может стать одной из основных систем анализа геоинформации, особенно там, где требуются исследования на обширных регионах. Что касается точности и детальности инфор-

мации нормализованных карт, то при правильном выборе масштаба в соответствии с целями проводимых исследований они вполне могут удовлетворять требованиям многих исследовательских задач.

Как модель объекта исследования нормализованная карта обладает рядом достоинств, благодаря которым представляется возможным:

1) осуществлять сопряженное избирательное считывание и анализ различных по содержанию карт, что позволяет сократить объем вводимой в ЭВМ информации и упростить процесс ее обработки;

2) производить совместный машинный и визуальный анализ геоинформации;

3) воспринимать явления в их взаимосвязи.

С созданием формализованного картографического языка отпадает необходимость перевода и хранения карт в цифровом виде на ДЗУ (перфоленте, магнитной ленте, магнитном диске и пр.), так как нормализованная карта является носителем единого языка для человека и машины. Правда, это не противоречит одновременному хранению картографической информации в цифровом виде на ДЗУ. Такое хранение целесообразно для крупномасштабных топографических, морских и некоторых других типов карт, если рассматривать их как базовую информацию для создания других карт.

3. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ КАРТОГРАФИЧЕСКОГО ОТОБРАЖЕНИЯ ГЕОИНФОРМАЦИИ

В картографии сложились определенные традиционные способы отображения объектов и явлений, обусловленные чисто изобразительными, наглядными средствами передачи геоинформации. В связи с автоматизацией процессов картографического отображения и анализа информации возникла необходимость формализованного подхода к описанию характера пространственного распределения объектов и их картографического отображения.

Картографическое отображение информации может рассматриваться в математическом и в изобразительном аспектах. В изобразительном аспекте карта выполняет, главным образом, коммуникативные функции, основывающиеся на визуальном, а в последнее время и на машинном восприятии информации и ее переработке. Математический же аспект является определяющим, так как именно он обеспечивает количественное описание передаваемых объектов, их точную локализацию, границы пространственного распределения, изменения по плотности, интенсивности и пр. Причем такие описания даются на математически определенной поверхности.

Таким образом, картографическое отображение — это определенная графоматематическая форма представления геоинформации изобразительными средствами.

Переход от объекта к картографическому отображению можно рассматривать как преобразование изображения объекта. Интервал отношений между объектом и его отображением на карте весьма значителен, начиная от почти совпадающего по геометрическому сходству представления объекта до изображения его в виде геометрической точки.

Главным требованием в картографическом отображении является высокая точность передачи метрических параметров объектов, что особенно важно для крупномасштабных карт. Процесс отображения включает различные преобразования — топологические, проективные, аффинные, подобия и другие.

В тематическом картографировании объектами для отображений часто являются научные понятия, прогнозы, гипотезы. Такие отображения используют в своей основе интерполирующие связи и экстраполяции. Особенность этих объектов состоит в непрерывном развитии, в их неполноте, незавершенности в конкретный момент времени, кроме того, в недостаточно полном знании сущности дальнейшего развития процесса, отсутствии точных данных и пр. Естественно, что в этом случае требования к геометрической точности или метрической инвариантности теряют смысл. Это в некоторой мере относится и к отображению объектов, подвергающихся значительной генерализации. В последней важно, чтобы множество внутренних точек области объекта A пространственно пересекалось с множеством точек области его отображения A' на карте при соблюдении условия $A \cap A'$ стремится к A . Во всех случаях существует одно общее требование — пространственное соответствие картографического отображения с действительностью. При отображении объектов на крупномасштабной карте, а также со значительной степенью генерализации на мелкомасштабной карте должны существовать определенные критерии точности отображения. Разница лишь в том, что в первом случае в основу определения критериев точности берется множество внешних точек, т. е. граница, а во втором — множество внутренних точек, т. е. область (при значительном обобщении границ оценка точности их положения теряет смысл).

Для описания характера пространственного распределения объектов и явлений, а также для объяснения используемых при этом методов их отображения воспользуемся понятиями дискретности и непрерывности. При этом следует обратить внимание, что фактически всякое явление с любой формой пространственного распределения может отображаться картографическими способами без строгого соблюдения аналогии по дискретности и непрерывности. Выбор способа определяется не только характером пространственного распределения явления



определения. К этому же классу объектов относятся также вытянутые объекты, такие как реки, геологические трещины, овраги, дороги и пр. Хотя эти объекты относятся к ограниченным связным областям, они все же имеют ту особенность, что при мелкомасштабном картографировании не отображаются по ширине в реальном масштабе. Это обстоятельство требует разработки особых способов отображения. В последующем их будут называть *линейными объектами*.

Геологические, географические и другие объекты или явления по характеру распространения в природе чаще всего представляют собой сложные связные области. Связные области могут быть не только в виде функций двух переменных: $u = f(x, y)$, но и функции трех переменных: $u = F(x, y, z)$ и даже функции n переменных: $u = F(x_1, x_2, \dots, x_n)$, определенной в n -мерном пространстве. Функции многих переменных иногда характеризуют комбинацией функций двух переменных

Одним из наиболее распространенных способов отображения непрерывной информации, представляемой в виде функции двух переменных $z = f(x, y)$, является метод сечений функции по одной из переменных с постоянным приращением, например способ изолиний, когда функция задана на поверхности семейства линий одинакового уровня $z_i = f(x, y)$ или $y_{z_i}(x)$. Иногда функцию $z = f(x, y)$ разделяют на n функций, в которых в качестве переменных берутся значения плоских координат x или y , например $z_{x_1}(y)$, $z_{x_2}(y)$, ..., $z_{x_n}(y)$ с некоторыми фиксированными значениями x_j .

Для построения блок-диаграмм с помощью ЭВМ строят двумерную модель в виде двух семейств кривых, каждая из которых соответствует функции одной переменной $z_{x_i}(y)$ и $z_{y_j}(x)$.

Изолинейный способ представления информации относится к непрерывно-дискретному отображению.

Достоинства способа изолиний общеизвестны. Вместе с тем он не дает полного аналогового представления непрерывной информации вследствие дискретности по одному из параметров. Полностью непрерывное отображение информации графическими средствами с необходимой точностью чрезвычайно сложно или вовсе невозможно (по крайней мере за всю историю существования картографии не придумано такого способа). Следовательно, дискретизация является вынужденной формой представления и передачи информации, причем, как показали современные достижения в области вычислительной техники и кибернетики, дискретизация информации является лучшей формой не только представления и передачи информации, но и ее обработки. Не случайно почти все известные картографические способы отображения несут в себе ту или иную степень дискретности. Так, например, значковый способ со ступенчатой шкалой дает дискретно-точечное отображение, картограмма с заданной

шкалой интервалов дает дискретно-дискретное отображение, а непрерывная картограмма — дискретно-непрерывное отображение информации.

В основу описываемого в данной работе МРД также положена идея дискретности. Необходимо заметить, что при выборе того или иного способа, будь то традиционный или новый, определяющими являются качественная и количественная достоверность и точность отображения, с одной стороны, доступность для восприятия человеком и машиной — с другой. В первом случае главным является математическая сторона, во втором — изобразительная. Для примера рассмотрим способ изолиний.

Независимо ни от содержания непрерывной информации (изобаты, изотермы, изогипсы и пр.), ни от изобразительных аспектов (способ послынной окраски по ступеням высот с применением различных шкал) математическая сущность способа изолиний остается одной и той же. Это — свидетельство независимости математической стороны способа отображения от его изобразительной стороны. Изменение изобразительной стороны, например, цвета шкалы или изолиний, не нарушает характер распространения отображаемого явления. Изобразительная сторона способа — это лишь средство кодирования качественных различий и параметров объектов для передачи их по каналам связи (два человека — по каналам зрительного восприятия, для машины — по оптическим и электрическим каналам).

Вместе с тем изобразительная сторона играет очень важную коммуникативную роль, от нее во многом зависит эффективность обработки картографической информации для решения всевозможных задач как визуально, так и машинными средствами.

В данной главе эти обе стороны отображения рассматриваются в совокупности, причем изобразительная сторона — как производная от математической.

Изобразительная сторона в отображении включает вопросы построения знаковых систем. Последняя должна быть простой и логичной, обеспечивающей быстрое восприятие и прочное запоминание человеком, а также надежное и быстрое распознавание машиной.

4. ПОНЯТИЕ О КАРТОГРАФИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

В связи с внедрением в картографию современных достижений технических наук, в особенности автоматике и вычислительной техники, картографическая информация приобрела непривычный для традиционного понимания смысл. В нашем сознании традиционно сформировалось представление: все, что связано с картографированием, картографической информацией, картографическим изображением, воплощает в себе карта как

модель, как графический документ, отображающий обычно на бумаге те или иные сведения о Земле или небесных телах, воспринимаемые нами непосредственно зрительно. С использованием средств автоматики и вычислительной техники оказалось, что картографическая информация может быть преобразована, записана и может храниться на других носителях: магнитном барабане, магнитной ленте, перфоленте, голограмме и пр., которые не имеют привычного для нас вида карты-чертежа земной поверхности, ограниченного определенной рамкой в виде меридианов и параллелей. Тем не менее, при таком преобразовании карта не исчезает, она и на этих носителях информации содержится со всем ее изображением, включая цветные знаки, надписи и пр., только это изображение представлено в виде закодированных электрических, оптических и других сигналов. При необходимости она может быть обратно преобразована в видимое изображение на экране электроннолучевой трубки (когда такое преобразование идет по электронному каналу) или в виде голограммы (когда преобразование идет по оптическому каналу). Причем можно воспроизводить не всю карту, а произвольно любые ее фрагменты, разделенные по содержательным признакам, и даже отдельные элементы ее содержания, т. е. изображение отдельных объектов, например, определенной реки, дороги, населенного пункта и пр. Разумеется, что эти возможности определяются тем, как закодировано изображение карты на машинном носителе. Если вывести на экран из памяти машины (из накопителя, хранящего преобразованное изображение карты) изображение только одного элемента, например, реки (с допустимыми искажениями), то можно ли назвать это изображение картографической информацией? Безусловно, можно, потому что все точки этого изображения представлены на математически определенной поверхности и сохраняют основные признаки картографического изображения.

Традиционная карта на бумаге— это тоже в определенном смысле запоминающее устройство, только для человека. Если она становится читаемой человеком и машиной, т. е. если в ее форме учтены разрешающая способность и логические возможности машины, то она одновременно выполняет функции и машинного запоминающего устройства, как и магнитная лента, магнитный диск, перфолента и пр., только в отличие от последних может восприниматься человеком непосредственно.

При таком подходе к определению информации можно к ней отнести любые другие материальные носители картографической информации, в том числе пространственные, как, например, рельефную карту, голограмму, глобус и др., так как все точки этих изображений представлены в соответствии с математически определенной поверхностью. Таким образом, можно

сказать, что карта является одним из основных видов (или форм) представления картографической информации.

К картографической информации можно отнести также фотографические изображения Земли и небесных тел, если точки этих изображений принадлежат математически определенной поверхности, привязаны к единой системе координат и содержат основные линии картографических проекций, хотя и не содержат привычных картографических знаков.

Любая пространственная информация о Земле, небесных телах и космическом пространстве, в каких бы сигналах она не была записана (электрических, оптических, в виде рисунка и пр.) и на каких бы носителях она не была представлена (на бумаге, магнитной ленте, перфоленте, фотопленке и пр.), если ее возможно технически воспроизвести (без особых математических преобразований) в графическом виде, т. е. в виде изображения всей карты или отдельных ее частей, зрительно воспринимаемых и при этом сохраняющих все основные признаки картографического изображения и прежде всего признаки того, что все точки этого изображения представлены на математически определенной поверхности (называемой картографической проекцией), то такую информацию можно назвать картографической.

Из этого следует, что картографическая информация — это не обязательно вся карта как графический документ, это может быть дискретная цифровая информация, представляемая, например, в виде электромагнитных сигналов, описывающих изображение какого-то одного элемента содержания карты (озера, реки, дороги, населенного пункта и пр.), аналоговая голографическая информация, представляемая в виде оптических сигналов, и пр. Причем отдельные элементы изображения не обязательно должны принадлежать какой-то одной определенной карте или нескольким картам. Они могут быть вне традиционного понимания карты, например, изображение отдельных крупных тектонических структур или линий маршрутов летательных аппаратов могут принадлежать глобально всей планете или ее крупным регионам. Они могут быть представлены в непривычном для формы карты виде, например, в виде узких лент или просто схем произвольного вида.

Следует признать неправильной точку зрения, что к картографической информации относится любая информация, показанная на карте. В этом случае возникает двойственность, например, геологическая информация становится одновременно картографической только потому, что она представлена в картографическом виде. На этом основании можно причислить к картографической информации все сведения об объектах и явлениях по содержанию, принадлежащие многим наукам о Земле и космическом пространстве, только потому, что эти сведения получили картографическую форму отображения. Куда в

таким случае можно отнести информацию о тех объектах и явлениях, которые еще не отображены, но которые в принципе можно отобразить картографически? При таком подходе картографическая информация — нечто не совсем определенное.

Картографическая информация включает сведения о свойствах объектов в графическом виде, но сами свойства объектов как содержание информации принадлежат той области науки, которая использует картографическую форму отображения. Здесь под выражением «графический вид» понимается форма информации, ее графический код, представленный цветом, геометрией рисунка, математико-графическими построениями, символами и их логическими связями. Как только она теряет свои графические и математические свойства, присущие картографической форме отображения, она перестает быть картографической информацией, превращаясь в другой вид, но при этом по содержанию она не перестает быть информацией той области науки, которой принадлежит по праву. Таким образом, картографическая информация — это особый вид графической информации, передающей сведения о Земле и небесных телах на математически определенной поверхности (т. е. в определенной картографической проекции) посредством графического изображения или кодированных электрических, оптических и др. сигналов на любых носителях (например, магнитной ленте, фотопленке, бумаге и пр.).

5. ПОНЯТИЕ О КОЛИЧЕСТВЕ ИНФОРМАЦИИ В КАРТОГРАФИИ

Вопрос разработки методов оценки количества картографической информации является актуальным, особенно в связи с современным уровнем автоматизации картографических процессов.

Большой интерес к теории информации был вызван выходом в свет работы К. Э. Шеннона «Математическая теория связи», в которой было дано вероятностно-статистическое определение понятия количества информации. В этой работе К. Э. Шеннон предложил абстрактную схему связи, сформулировал теоремы о пропускной способности, помехоустойчивости, кодировании и т. д. В вероятностно-статистической теории К. Э. Шеннона впервые от нечеткого представления об информации (как передаче сведений) был совершен переход к точному понятию количества информации.

В статистической теории понятие количества информации определяется на основе понятия вероятности, которое, как известно, применяется для описания ситуации с неопределенностью. Степень неопределенности сообщений измеряется величиной, которую в теории информации принято называть энтропией (H). Энтропия является функцией вероятности (p)

$$H = -p \log p. \quad (1.3)$$

Единица информации зависит от выбора основания логарифма: если основание равно двум, то информация измеряется в битах, если основание равно десяти, то измерение ведется в десятичных единицах информации.

Теория К. Э. Шеннона, дающая понятие об информации как о неопределенности, получила довольно широкое распространение и принята многими учеными для оценки информации различных процессов, в том числе и некоторыми картографами. Однако необходимо заметить, что эта теория не дает самой общей трактовки понятия информации. Оказывается, что чисто вероятностное понимание информации и ее количества, характерное для статистической теории информации, не отражает существа многих процессов. Это связано с тем, что многие информационные процессы не являются случайными. Вследствие этого возникли невероятные, нестатистические подходы к измерению количества информации. Если взять картографическую информацию, то она совершенно определена. В этом случае необходим выход за рамки вероятностного подхода, необходима выработка иного определения понятия количества информации.

Один из ведущих ученых кибернетики Дж. фон Нейман указывал* на необходимость двух подходов к построению теории информации. Он считал, что в кибернетических системах передача информации может принимать форму не только вероятностно-статистического, но и однозначно-детерминированного процесса. Дж. фон Нейман отмечал, что для однозначно-детерминированных процессов передачи информации необходимы строгие точные теории, к которым он относил, в частности, и формальную логику.

При автоматизации картографических процессов могут иметь место как однозначно-детерминированные, так и вероятностно-статистические процессы. Вероятностно-статистические связаны: с процессами ввода картографической информации в ЭВМ с помощью считывающих фотоэлектронных устройств сканирующего типа; с передачей ее на расстояние по фототелеграфному каналу связи и др. В этих процессах картографическая информация передается без каких-либо формализованных сведений о качественной и количественной их характеристике или форме знака в их картографическом понимании, а только в виде оптических сигналов, получаемых дискретно в точках по строкам в процессе сканирования поверхности карты, дающих определенный сигнал яркости по каждому цветоделенному каналу в соответствии с тем или другим участком карты. Когда осуществляется такой ввод в ЭВМ, очень важно знать количество

* Дж. фон Нейман. Теория самовоспроизводящихся автоматов. М., «Мир», 1971.

вводимой информации с целью оценки возможностей памяти машины для ее приема (регистрации).

Рассмотрим вначале случай, когда считывающее устройство одноканальное, т. е. дает одноцветный ввод с квантованием изображения только по яркости. Как известно, при вводе любого изображения в ЭВМ требуется неизменное преобразование его в дискретный вид (цифровой код). В данном случае каждый оптический сигнал, полученный при считывании с карты, будем рассматривать как множество сообщений и считать сообщениями значения яркости элементов дискретизации изображения n . Принимая число уровней квантования по яркости равным m (у современных считывающих устройств такого типа количество уровней квантования достигает 256), число строк равным k , постоянное количество элементов дискретизации n в строке, количество информации H , представляемое в памяти ЭВМ двоичными разрядами, может достигать

$$H = nk \log_2 m. \quad (I.4)$$

Количество информации зависит от распределения вероятностей значений яркости [18, 30].

Рассмотрим принцип расчета количества информации при вводе в ЭВМ применительно к многоцветной карте.

При вводе в ЭВМ многоцветной карты (с помощью цветоделительных считывающих устройств) количество информации увеличивается по сравнению с количеством информации при вводе одноцветной карты (одноканальным устройством) пропорционально количеству цветоделенных изображений. Количество информации при вводе многоцветных карт можно определить по формуле

$$H = N \frac{S}{s} \log_2 m, \quad (I.5)$$

где N — количество цветовых уровней изображений, S — площадь карты по внутренней рамке (если считывается вся карта) или площадь считываемого фрагмента карты; s — площадь дискретного элемента разложения изображения (обычно соответствует площади развертывающего элемента сканирующего устройства); $m = 2^n$ — количество кодовых уровней квантования по яркости внутри каждого элемента разложения; n — количество кодовых комбинаций в кодовой посылке, описывающей m изменений уровней яркости.

Устройство для ввода многоцветных карт должно содержать как минимум три цветоделенных канала (гл. IV.17).

Из формулы (I.5) следует, что чем меньше площадь элемента разложения и чем больше уровней квантования по яркости и цветовых уровней, тем больше количество информации.

Рассмотренный процесс ввода и оценки количества картографической информации в ЭВМ носит вероятностно-статисти-

ческий характер. Совсем иная ситуация возникает, когда требуется оценить количество картографической информации с учетом ее определенного по форме синтаксического аспекта. Такая необходимость возникает прежде всего в процессе составления карты и для хранения информации. Здесь нужен другой подход. В настоящее время в ряде областей наук широкое развитие получил *комбинаторный подход*. В комбинаторной оценке информации основное внимание обращается на количество элементов, а также на их отношения в конечной совокупности. Это конечное количество элементов может быть и количеством случайных событий, и количеством возможностей, и количеством определенных предметов и пр. Для картографической информации в отдельных случаях вполне подходит определение комбинаторного количества информации. Оценка информативности метода растровой дискретизации рассмотрена (гл. II.8) именно на принципе комбинаторики.

Принятое некоторыми картографами понимание картографической информации как сведений или как снятой неопределенности (энтропии) посредством вероятностно-статистической оценки нельзя признать удачным [34]. Карта является статичной графоматематической моделью, следовательно, картографическая информация является совершенно определенной. Здесь не следует путать информацию об объектах или явлениях, отображаемую на карте, с собственно картографической информацией.

Определение понятия количества картографической информации должно выделять ее наиболее общие и существенные признаки.

Таким общим признаком является различие, разнообразие. С этой точки зрения информация существует там, где имеется разнообразие, различие. Если два знака качественного фона на карте различаются только по светлоте фона, то их совокупность содержит два элемента с разнообразием. Это элементарное различие, т. е. различие двух знаков или элементов изображения, является простейшей единицей измерения информации. Очевидно, чем больше в совокупности изображений отличных друг от друга элементов, тем больше она содержит информации. При машинной обработке информации такой единицей является бит. Для картографической информации разнообразие различия состоит прежде всего в геометрии рисунка (различная кривизна, длина, толщина и их всевозможные сочетания, образующие отдельные знаки и их совокупности), разнообразие по цветовым характеристикам (светлоте, цветовому тону, насыщенности) и, наконец, различие в совокупностях и связях. Именно эта сторона картографической информации и определяет ее количество.

Для картографической информации наилучшей является оценка количества информации через меру сложности графического рисунка. Сложность картографического изображения

связана со следующими его свойствами: 1) числом точек нулевой кривизны на границе объекта (контура, дискретного знака и пр.) или числом углов и изменением их размеров; 2) числом, получаемым при делении квадрата периметра объекта на его площадь $\frac{P^2}{S}$ (это число достигает наименьшего значения для круга, оно равно 4π); 3) для цветного изображения числом градаций по светлоте, цветовому тону и насыщенности. Заметим, что ахроматическое изображение менее информативно по цвету, чем хроматическое, так как оно не имеет цветового тона и насыщенности. К свойствам сложности можно отнести ряд других признаков, но при этом очень важно учитывать совокупность этих признаков в различных сочетаниях, пересечениях и пр.

Такой подход к оценке количества информации (т.е. только через меру сложности) был бы односторонним, так как он учитывает только синтаксическую сторону изображения. Для того чтобы дать более полную оценку информативности картографического изображения с учетом содержательного аспекта, необходимо учитывать и семантическую сторону.

Введем понятие *информационной эффективности знака* (ИЭЗ). Под ИЭЗ будем понимать отношение количества семантической информации σ (т.е. количество содержательных характеристик, которое имеет знак) к мере сложности знака λ (с учетом площади, занимаемой штриховыми элементами знака и его размером)

$$H_e = \frac{\sigma}{\lambda}.$$

Из этого следует, что чем проще по начертанию знак и при этом чем больше он несет семантической информации, тем выше ИЭЗ. Такая оценка наилучшим образом подходит к дискретным знакам.

При оценке информативности всего изображения карты с учетом семантических и синтаксических аспектов следует отдельно учитывать информативность самих знаков и той информации, которая передает пространственно-временное положение объектов или явлений, например границ контуров. Так, если для дискретного знака возрастание меры сложности снижает его ИЭЗ, то для контура, наоборот, — повышает, т.е. чем более извилист контур и чем больше значение отношения квадрата периметра объекта к его площади, тем выше его информативность. Разумеется, что информативность будет возрастать по мере увеличения числа качественных и количественных характеристик, передаваемых контуром. Эта проблема нуждается в особом рассмотрении.

При обработке картографической информации в ЭВМ, например в процессе составления карты, целесообразно использо-

вать алгоритмическое определение количества информации, данное А. Н. Колмогоровым*. Это определение заключается в том, что количество информации определяется как минимальная длина программы (сложность), позволяющая однозначно преобразовывать один объект в другой (как некое множество). Например, если имеется последовательность, состоящая из одного объекта (какого-то одного знака, повторяющегося несколько раз), а второй объект состоит из такой же последовательности, то длина программы для преобразования первого объекта во второй оказывается равной нулю, так как объекты одинаковы. Сложность программы определяется степенью различия объектов. Чем больше степень различия объектов, тем больше требуется команд при реализации программы для преобразования одного объекта в другой.

6. НОВЫЙ ПОДХОД К ВОПРОСУ ГЕНЕРАЛИЗАЦИИ

Исходя из наиболее общих позиций, можно выделить масштабную и целевую генерализацию. *Масштабная генерализация* проявляется вследствие уменьшения изображения при переходе к более мелким масштабам. Такую генерализацию правильнее было бы назвать масштабным сжатием информации (понятие «сжатие информации» известно из кибернетики, а в последнее время стало употребляться в картографии).

Целевая генерализация наиболее полно отвечает смыслу термина «генерализация», так как именно в ней ставится основная задача — выделить типичное, главное, существенное; выявить и выделить наиболее общие связи, понятия, категории.

В понимании целей генерализации и ее значения до сих пор существуют разные мнения. До сих пор у некоторых картографов продолжает существовать такой взгляд на генерализацию (в том числе на генерализацию при составлении топографических и аналитических карт), что сам факт генерализации при переходе к более мелким масштабам представляет собой положительное явление во всех случаях и что благодаря ей информация приобретает новую качественную определенность, очень важную при последующем использовании карт. Со всем этим согласиться трудно, так как в действительности положительная сторона в масштабной генерализации для таких карт выступает лишь как частность, именно только тогда, когда ставится некая исследовательская задача — выявить на карте для любых конкретных объектов или отдельных их сторон, для каких-то конкретных целей наиболее общее, типичное и существенное, интересующее исследователя лишь в определенном случае.

* А. Н. Колмогоров. К логическим основам теории информации и теории вероятностей. — «Проблемы передачи информации», 1969, т. V, вып. 3.

Произвести универсальную генерализацию, которая устраивала бы любого потребителя, невозможно, да и не нужно. Не нужно потому, что основная ценность и достоинство карты (в особенности топографической и аналитической) в том, что она, являясь емким носителем информации и удобным для непосредственного использования человеком, позволяет проводить всевозможные анализы и исследования, получать измерительную информацию и осуществлять соответствующие расчеты для выполнения различных изыскательских, проектных и других работ, для которых главным является точность и достоверность информации карты. Когда информация карты достоверна и точна, представляется возможность производить с ней любые операции, в том числе и любого характера целевую генерализацию, если таковая окажется необходимой. Обработка информации с целью научного анализа или измерительных изыскательских работ, требующих точных и достоверных данных, не может привести к положительным результатам, если информация карты подвергнута значительной генерализации, так как восстановить потерянную исходную информацию в результате традиционных приемов генерализации невозможно.

Таким образом, основной задачей при составлении карты является сохранение информации исходной карты. Так как потери информации при переходе к более мелким масштабам неизбежны, то возникает задача выделения и отображения типичного, главного и существенного, так как механическое устранение даже мелких деталей при несоблюдении правил генерализации может привести к более существенным потерям информации. Необходимо признать тот факт, что если при переходе к картам более мелкого масштаба, пусть даже с применением самых оптимальных приемов генерализации, происходят потери информации, то это отрицательное явление. К сожалению, оно неизбежно, ибо без генерализации качество информации будет еще ниже. Тем не менее, при масштабной генерализации должна стоять иная цель, чем при целевой. Следует изыскать такие способы и приемы сжатия информации, которые бы приводили к минимальным потерям ее, чтобы информация на карте была достаточно точно, достоверна и имела оптимальную детальность, разумеется, с учетом тех требований, которые предъявляются к карте как наглядному графическому носителю информации. При поиске таких способов и приемов не следует ограничиваться только отбором и изменениями в геометрии рисунка картографического изображения. Генерализация может быть многоплановой, многоуровневой. Это значит, что выделение типичного, существенного, общего может быть достигнуто другими изобразительными средствами за счет использования ярких, цветowych, текстурных характеристик изображения, а также структуры раstra с определенной математической интерпретацией принципов отображения (некоторые приемы такой

генерализации излагаются в данной работе). Идея многоуровневой генерализации состоит в расчленении информации на несколько уровней по детальности и значимости с различной степенью генерализации и в применении способов отображения, обеспечивающих изобразительно и топологически возможность передачи как мелких деталей, лежащих за пределами возможностей масштаба составляемой карты, так и крупных, являющихся в большей части типичным, главным, существенным. При этом важной стороной многоуровневой генерализации является та особенность изобразительной передачи информации, при которой зрительно она воспринимается многопланово, т. е. на переднем плане выделяется наиболее генерализованная часть информации, затем менее генерализованная и, наконец, подвергшаяся минимальной генерализации. Такое направление в генерализации представляется наиболее оптимальным во многих отношениях, прежде всего в том, что при многоуровневой генерализации происходят минимальные потери информации и при этом обеспечивается такая наглядность изображения, которая позволяет четко различать главное и второстепенное, общее и частное. Конкретная реализация идеи многоуровневой генерализации дана в способах мультимасштабного отображения (см. гл. II.11). Однако и в этих способах при переходе к мелким масштабам невозможно избежать потерь информации. Независимо от применяемых способов масштабной генерализации потери информации неизбежны. Очевидно, что чем существеннее производится обобщение и отбор, тем больше потеря информации.

Величину информации dP на элементарную площадку $dS = dy \cdot dx$ будем называть *информативностью карты в точке*.

Масштабной генерализацией карты будем называть понижение информативности карты $\frac{dP}{dy \cdot dx}$ и рассматривать как функцию изменения масштаба m и в отдельных случаях вида проекции при неизменности содержания и используемой системы знаков. Характер генерализации при таком подходе выражается степенью потери информации в точке и может быть выражен количественно путем сравнения генерализуемой (составляемой) и исходной карт.

Модуль разности

$$\left| \frac{dP_1}{dy \cdot dx} - \frac{dP_2}{dy \cdot dx} \right| = g \quad (I.6)$$

назовем *эффектом масштабной генерализации* (разумеется, только с точки зрения изменений в количестве информации).

Очевидно, что если оценку масштабной генерализации, как процесса, понижающего информативность карты, рассматривать только относительно реальной элементарной площадки пространства, тогда эффект генерализации будет возрастать по мере

перехода к более мелким масштабам составляемой карты и, следовательно, будут увеличиваться потери информации. Обратную картину можно наблюдать, если сравнивать одинаковые по площади участки карты без учета их масштаба, но при прочих равных условиях. В этом случае информативность мелкомасштабных карт будет выше информативности крупномасштабных. При такой сравнительной оценке информативности карты эффект масштабной генерализации теряет всякий смысл. Другие цели стоят перед целевой генерализацией. Для нее масштаб составляемой карты в принципе может быть тот же, что и на исходной карте, поэтому для целевой генерализации он не является определяющим.

К целевой генерализации можно отнести построение трендовых поверхностей, представляющих определенную форму абстрагирования, т. е. особую форму генерализации: выделение наиболее общих, генеральных закономерностей явления; выявление области пространственного распределения дискретных объектов, отображаемых в виде изолиний, ареалов и пр., с целью изучения связей, особенностей распределения и пр.

Для аналитической и топографической карт, имеющих широкий и разнообразный круг потребителей, цели использования которых определить заранее невозможно, фактически исключается принцип, закладываемый в целевую генерализацию (исключения могут составлять некоторые типы аналитических карт и топографические карты мелких масштабов). Целевая генерализация приемлема для карты, назначение которой строго определено, причем с учетом конкретного ее использования. Чем более конкретны задачи использования карты, тем более определена цель генерализации.

Если карта используется инженером-проектировщиком для прокладки железной дороги, то для него важна точность и достоверность, ему не нужна информация, имеющая искажения в виде обобщений отдельных форм рельефа, например, на топографической карте или геологических контуров на инженерно-геологической карте. В то же время для геоморфолога или геолога, например, при исследовании тектоники важнее всего выявление взаимосвязей и закономерностей, поэтому обобщение отдельных форм рельефа, подчеркивающих его структуру, имеет большое положительное значение. Целевая генерализация необходима прежде всего там, где проводятся исследования.

Процесс генерализации представляет собой по существу преобразование информации. Особенно ярко преобразования информации проявляются при целевой генерализации.

Для преобразования информации, с целью выявления наиболее общего и главного, успешное применение находит аппроксимация. Наиболее широко используется аппроксимация поверхностей с помощью алгебраических и тригонометрических функций например, при разложении поверхностей, представлен-

ных на карте в виде изолиний. Такое разложение поверхностей ставит целью выделение главного фактора, формирующего основную структуру, наиболее существенные типичные черты данного явления, например выявление зональных климатических закономерностей путем исключения местных особенностей. Карты, отображающие такие поверхности, в геологии названы *картами тренда*. При анализе структуры кристаллических тел и выделении рудоносных участков очень эффективным методом анализа является построение геохимических карт тренда. Эти карты, характеризующие распределение процентного содержания того или иного элемента в горных породах, позволяют выявить основные направления, главные тенденции в размещении различных руд. Методы аппроксимации уже давно известны и используются для трансформации гравитационных и магнитных полей. С их помощью можно снять мелкие, носящие местный, случайный характер элементы и рельефно выделить аномалии, обусловленные более крупными тектоническими единицами. Правда, иногда особый интерес представляют второстепенные детали на фоне основной структуры, например выделения локальных аномалий гравитационного поля на фоне региональных изменений. Эти методы разложения поверхностей, получившие свое первоначальное развитие в геофизике, сегодня широко используются в географии и геологии, особенно в структурно-геоморфологическом анализе и в исследовании тектоники, например, изучение локальных неотектонических движений на фоне общеколебательных, анализ регионального поведения поверхностей выравнивания и их локальных деформаций и пр. Такое разложение поверхностей на две составные приводит к образованию двух производных карт, называемых *картами фоновой и остаточной поверхностей* [2]. Эти карты представляют собой пространственные модели соответственно главных и второстепенных факторов. С точки зрения целевой генерализации особый интерес представляют карты фоновой поверхности, передающие пространственное размещение основного ведущего фактора.

В зависимости от конкретных задач исследования и применяемого аппарата аппроксимации могут использоваться различные способы отыскания фоновой поверхности. Фоновая поверхность должна аппроксимироваться функцией от координат $z=f(x, y)$. Назовем некоторые известные способы. К одному из употребительных способов относится аппроксимация с помощью неортогональных алгебраических многочленов.

Наиболее часто в качестве аппроксимирующей функции берется полином от двух переменных

$$z = a_{00} + a_{10}x + a_{01}y + a_{11}xy + a_{20}x^2 + a_{02}y^2 + a_{30}x^3 + a_{21}x^2y + a_{12}xy^2 + a_{03}y^3 + \dots \quad (I.7)$$

Задачи нахождения аппроксимирующей поверхности сводятся к определению коэффициентов a_{00} ; a_{01} ; a_{10} , a_{20} , a_{02} , a_{11} ,... Для вычисления коэффициентов с исходной карты снимают ряд значений z_i , а затем решают методом наименьших квадратов. Число коэффициентов, подлежащих определению, зависит от степени полинома. Эта зависимость выражается следующей формулой:

$$N = \frac{(n+1)(n+2)}{2}, \quad (1.8)$$

где N — число коэффициентов, n — степень многочлена. Аппроксимация поверхности многочленом первой степени, т.е. когда $n=1$, дает поверхность первого порядка, представляющую собой плоскость. Полином в этом случае будет иметь вид

$$z = a_{00} + a_{10}x + a_{01}y. \quad (1.9)$$

Очевидно, что такая поверхность является слишком грубой, приближенной.

Поверхность второго порядка (эллипсоид, параболоид и др.) является лучшим приближением, а поверхность, представленная кубической функцией, дает еще более точное приближение и т. д. С увеличением степени многочлена достигается более точная аппроксимация, это значит, что производная (аппроксимируемая) поверхность больше приближается к исходной, а следовательно, она подвергается меньшей степени обобщения.

Для построения фоновых поверхностей представляет интерес способ аппроксимации поверхности с помощью ортогональных полиномов П. Л. Чебышева и с помощью тригонометрических и сферических функций [3].

Особые перспективы открываются перед многоуровневой генерализацией при создании нормализованных карт со скрытой информацией. Информация на нормализованной карте может быть разделена на две части. Одна часть для чтения человеком, другая — для машины, или одна часть для человека и машины, другая — только для машины. Первая часть информации обязательно должна учитывать перцепцию зрительного анализатора человека, вторая же только разрешающую способность и логические возможности машины.

Это направление имеет большие возможности. В будущем на основе особых материалов с помощью машин и специальных средств регистрации информации можно будет создавать карты высокой информационной емкости. Возможности машин возрастают с каждым годом. Уже сегодня машина во многих отношениях превосходит зрительный анализатор человека. Машина может воспринимать многие сигналы и перерабатывать эту

информацию в миллион раз быстрее, чем мозг человека. Поэтому не вызывает сомнений, что создание носителей геоинформации в виде таких карт, где будет содержаться хорошо читаемая, наглядная, образно-генерализованная информация для человека, детальная, точная, высоко информативная и хорошо воспринимаемая для машины, ожидает большое будущее.

7. ПРЕДМЕТ И ЗАДАЧИ КАРТОГРАФИИ

К настоящему времени известен ряд определений картографии [1, 6, 32, 71, 75 и др.]. В каждом из определений с различной степенью полноты и широты отражается сущность предмета. Автор присоединяется к точке зрения, основывающейся на более широком понимании задач картографии, т. е. что картографии присущи наряду с информационными функциями (отображения, хранения и передачи информации) еще и функции научной интерпретации информации. Несмотря на некоторые достаточно полные определения картографии, автор все же счит целесообразным дать свое определение, которое несколько уточняет и углубляет известные определения, но при этом (как автору представляется) в большей степени отвечает сегодняшним направлениям развития картографии.

Картография — наука, занимающаяся методами отображения, хранения и передачи информации о структуре, пространственных отношениях и свойствах объектов или явлений Земли и небесных тел с представлением ее в виде графоматематических моделей с заданным масштабным уменьшением (в обобщенной и наглядной форме для человека и специальной детальной форме для машины), а также ее научной интерпретацией с целью определенного практического использования. Под «специальной детальной формой для машины» подразумеваются изображения, предназначенные только для машинного чтения, которые могут быть также в виде скрытого кода.

Некоторые авторы в своем определении картографии не относят к задачам картографии функции анализа информации, т. е. ее научной интерпретации. Известно, что математика в арсенал своих методов анализа включает наряду с чисто аналитическими методами и графоматематические, например номографию, начертательную геометрию и др. Рассматривая карту как графоматематическую модель, с таким же правом можно использовать картографические приемы анализа, причем в сочетании с аналитическими. Картография обладает своим специфическим языком. Возможности этого языка многогранны. Основные функции его отображения и коммуникации позволяют в принципе как графически и графоаналитически, так и чисто математически, как посредством рецепторного канала и анализатора (мозга) человека, так и посредством оптико-элек-

тронного канала, памяти и логических блоков машины осуществлять различные операции анализа. Картография в некотором смысле синтезирует в себе определенные аспекты таких фундаментальных наук, как математика и кибернетика — с одной стороны, география, геология, геофизика, астрономия, экономика и социология — с другой.

Картографию, как и другие науки, можно рассматривать с точки зрения методологии науки и ее приложения.

Методология науки включает следующие разделы:

1. Определение сущности науки.
 2. Отображение поверхности Земли, небесных тел и космического пространства в определенной системе координат (что составляет предмет математической картографии).
 3. Отображение явлений или объектов в соответствии с их пространственным распространением (включая генерализацию).
 4. Семиотика и коммуникация (включая формализацию картографического языка) с рассмотрением двух сторон общей проблемы: методов передачи картографической информации по рецепторному каналу человека (включая аспекты инженерной психологии, т. е. восприятие и чтение информации зрительным анализатором человека) и методов передачи по оптико-электронному каналу машины (включая восприятие и чтение картографической информации машиной с учетом ее логических возможностей и разрешающей способности).
 5. Анализ картографической информации различными методами (графическими, графоаналитическими, математическими, оптическими и др.).
 6. Теория картографической информации, которая тесно связана почти со всеми разделами.
 7. Методика картографического моделирования (общие принципы проектирования, составления, редактирования и оформления карт).
 8. Разработка общих принципов создания автоматизированных картографических систем, включая хранение и поиск картографической информации.
 9. Воспроизведение и размножение картографических документов (полиграфическими, фотографическими, оптическими, электронными и другими средствами).
- Картографическая методология независима от других наук. Картографические методы, как и математические, могут использоваться в ряде отраслей наук и производства как средство исследования.

Приложение картографических методов относится к конкретным отраслям наук и производства (топографическое и физико-географическое картографирование, геологическое и геофизическое, сельскохозяйственное и почвенное, морское и гидрологическое, метеорологическое и климатическое, картографирование небесных тел и др.).

Приложение картографических методов включает следующие разделы:

1. Создание формализованных картографических языков в соответствии с содержанием информации, относящимся к той или другой отрасли науки или производства, на основе общих методологических принципов формализации картографического языка.

2. Моделирование процесса создания карт по конкретным отраслям (разработка содержания, соответствующих способов отображения и пр.).

3. Разработка отраслевых автоматизированных картографических систем на базе общих методологических принципов (включая хранение и поиск информации).

4. Применение общих методов анализа и разработка особых для той или другой отрасли способов анализа картографической информации при проведении исследований.

Картографический язык, как и язык математики, независим от содержания моделируемого процесса или явления, иными словами, одни и те же методы картографического отображения и анализа могут быть применимы к различным объектам или явлениям, здесь важно лишь соответствие по характеру их пространственного распространения (на геосферах, небесных телах или в космическом пространстве).

Наиболее целесообразным и перспективным направлением дальнейшего развития картографии является: разработка формализованного картографического языка; автоматизация процессов построения нормализованных карт, их хранение, поиск и, наконец, обработка картографической информации современными кибернетическими средствами для целей исследования природных и социально-экономических явлений. К этому следует добавить создание автоматизированных картографических систем хранения, поиска и обработки картографической информации как на основе нормализованных карт, так и на основе цифровой информации на машинных носителях (для крупномасштабных базовых карт).

Перспективным является создание комплексных отраслевых несшивных атласов в виде набора аналитических нормализованных карт с большой детальностью и точностью в одном масштабе и одной проекции. Такие атласы и комплекты карт будут по существу своеобразными накопителями информации, по которым можно проводить исследования визуально, с помощью простейших средств измерения и средств автоматики.

В отдельных случаях целесообразно создание серии карт разной тематики с охватом нескольких отраслей (особенно при освоении новых районов). Время на их создание, во избежание старения материала, должно ограничиваться не годами, а несколькими неделями или даже днями и часами, для чего необходимо более широкое использование вычислительной техники

и автоматике. Что касается атласов мира, СССР, республик, ставящих своей целью пропаганду и популяризацию знаний, а также создаваемых для справок (краеведческие, учебные, научно-популярные и др.), то они по своей форме и содержанию должны быть доступны широкому потребителю, а их издание должно быть, естественно, массовым. Применение современных средств полиграфии должно обеспечить их особую привлекательность. По оформлению карты должны быть красочными, для чего следует широко использовать художественные изобразительные приемы, цветные фотоиллюстрации и пр. Хорошим примером для этого могут быть туристические карты последних лет.

ГЛАВА II

НОВЫЕ КАРТОГРАФИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОТОБРАЖЕНИЯ ГЕОИНФОРМАЦИИ

В данной главе рассматриваются новые методы отображения информации. Значительная часть главы посвящена методу, названному методом растровой дискретизации (МРД) [45, 52, 55, 68 и др.].

МРД разрабатывался с учетом логических возможностей и разрешающей способности машин и психологии человека к восприятию и чтению картографического изображения.

Метод позволяет отображать объекты или явления, имеющие, по существу, любой характер распространения в пространстве, за исключением линейных объектов.

МРД, в отличие от традиционных форм представления информации, позволяет в пределах одной замкнутой области показывать ряд качественных и количественных признаков объектов. Это свойство МРД позволяет довольно эффективно использовать его для отображения многопараметрических объектов.

Всесторонний анализ МРД показал, что им можно отображать любую информацию, как непрерывную, так и дискретную, независимо от характера ее пространственного распространения. Правда, не во всех случаях он может быть одинаково эффективен. Так, например, для отображения некоторых видов информации, представляемой в виде непрерывной функции $z(x, y)$, в ряде случаев более эффективен способ изолиний.

В этой связи методика отображения в данной главе рассматривается применительно к таким объектам или явлениям, для которых МРД наиболее целесообразен. Вообще МРД может быть целесообразен прежде всего там, где требуется отображение информации аналитического характера, отличающейся высокой детальностью и точностью с целью ее дальнейшего использования для научных исследований.

В начале главы рассматривается сущность метода и его изобразительные и информационные свойства. Дается методика отображения непрерывно-дискретной и дискретной информации. Описывается способ мультимасштабного отображения информации площадных объектов, который оказался возможен только благодаря применению линейных однонаправленных растров.

В конце главы рассматриваются способы отображения линейных (протяженных) объектов мультимасштабным способом.

8. ОТОБРАЖЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ МЕТОДОМ РАСТРОВОЙ ДИСКРЕТИЗАЦИИ

Сущность метода растровой дискретизации

Основная цель, которая была поставлена при разработке данного метода, состояла в поиске универсальных графических приемов формализации отображаемой информации, т. е. создания такого метода, который бы обеспечил, с одной стороны, возможность передачи любой пространственной информации, как дискретной, так и непрерывной, а с другой, чтобы любая по содержанию карта, составленная новым методом, могла избирательно считываться одним и тем же комплексом программ специализированных кибернетических устройств и ЭВМ. При этом ставилась задача, чтобы метод обеспечивал более высокую детальность и точность отображения информации при достаточно хорошей визуальной читаемости изображения.

Сущность метода состоит в дискретной интерпретации отображаемой информации на основе системы линейных растров различных параметров, являющихся одновременно информационными и изобразительными признаками качественной и количественной сторон содержания карты. Линии раstra берутся с одной пространственной ориентацией, т. е. одинакового направления (в отдельных случаях допускается взаимно перпендикулярное расположение линий раstra).

Чтение картографической информации, отображенной МРД, осуществляется фотоэлектронными сканирующими устройствами с перпендикулярным направлением строк развертки по отношению к линиям раstra. Информационными параметрами такой системы растров являются:

1. Толщина T , характеризующаяся: при визуальном чтении различием по толщине линий раstra (рис. 2, б), при машинном — временным интервалом τ по длительности видеоимпульса в момент пересечения линии раstra развертывающим элементом (рис. 2, а).

2. Частота W , характеризующаяся: при визуальном чтении величиной интервала между осевыми линиями растров (рис. 3, б), при машинном — частотой следования видеоимпульсов $n/\Delta t$, формируемых растровой решеткой в процессе развертки (рис. 3, а).

3. Цвет C , характеризующийся: при визуальном чтении изменениями по цветовому тону, насыщенности и светлоте, при машинном — величиной амплитуды видеоимпульса и зоной оптического спектра $\Delta\lambda$.

4. Длина L , характеризующаяся: при визуальном чтении различием в длинах отдельных линий или суммарных значений по длине линий раstra, при машинном — шагом развертки сканера d и числом импульсов N , возникающих при пересечении развертывающего элемента с линиями раstra (рис. 4).

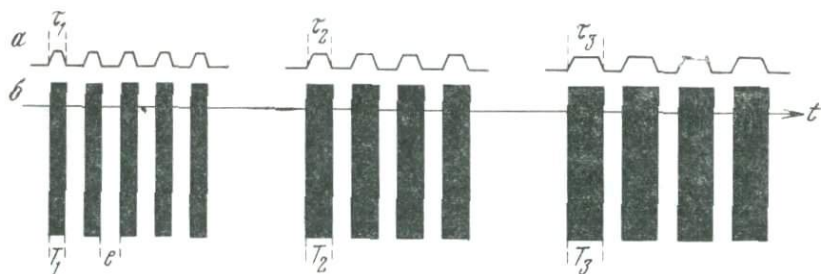


Рис. 2

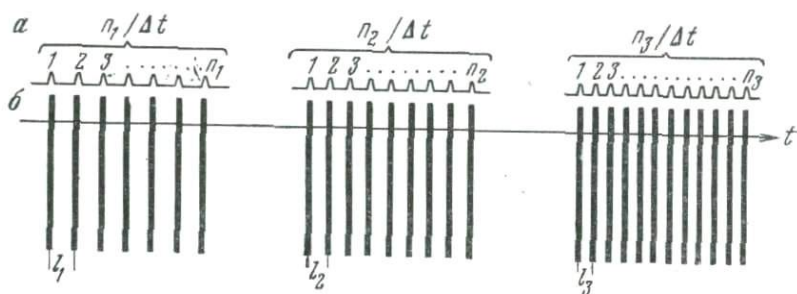


Рис. 3

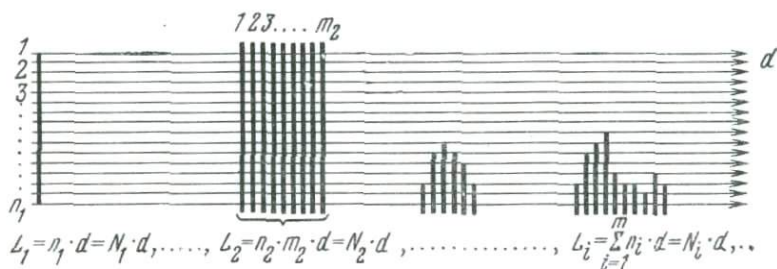


Рис. 4

5. Группировки H , характеризующиеся: при визуальном чтении количеством линий в группе (серии) m с равными интервалами, например, в одну линию, две, три и так далее, при машинном — количеством импульсов в серии при их равной частоте.

6. Комбинации K , характеризующиеся: при визуальном чтении сочетаниями линий по цвету и толщине в группе (рис. 5, б), при машинном — комбинациями различных параметров импульсов в пределах одной серии (рис. 5, а).

По количеству используемых параметров и по количеству оптимально возможных ступеней градаций по каждому параметру можно судить об информативности метода.

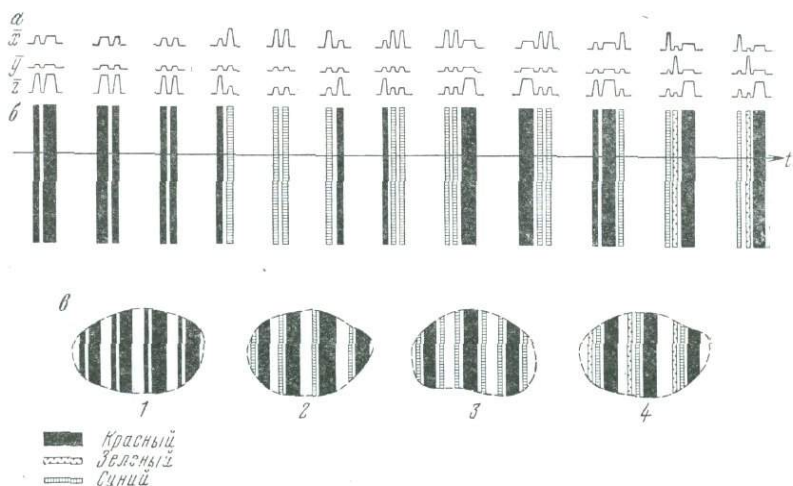


Рис. 5

Информативность метода будет зависеть от двух основных факторов:

- 1) от оптимальных порогов различений человеком и машинной по каждому параметру (т. е. в степенях градаций);
- 2) от требований, предъявляемых к детальности и точности отображаемой информации (заметим, что увеличение градаций по параметрам T , W , H в отдельных случаях снижает детальность и точность).

Информационные свойства МРД

Как можно было понять из предыдущего параграфа, информативность метода связана с вопросом оптимального выбора параметров раstra.

Информативность МРД будем рассматривать как количество разнообразия элементов раstra, т. е. как количество отличающихся друг от друга совокупностей линий раstra.

Оценка информации по разнообразию элементов множества впервые была изложена одним из основоположников кибернетики английским ученым У. Р. Эшби в 1956 г. в книге «Введение в кибернетику». У. Р. Эшби показал, что информация не может передаваться в большем количестве, чем позволяет количество разнообразия. Под разнообразием понимается отличие элементов множества. Для МРД следует рассматривать различие в параметрах отдельных линий раstra, имеющих надежные пороги различения как машиной, так и человеком, и в совокупности этих параметров.

Определим критерии, по которым можно судить об информативности МРД. Так как определяющим признаком информативности является количество дискретных элементов разложения (градаций) по каждому параметру растровой системы, то рассмотрим их раздельно.

Основной сложностью при определении критериев информативности является необходимость одновременности учета возможностей человека и машины. Причем, если для человека зрительные пороги различения в определенной степени уже известны, то для машины (так сокращенно будем называть любое кибернетическое читающее устройство) анализ разрешающей способности представляет немалую трудность. Эта трудность связана с неопределенностью класса машины. Проведенные исследования различных устройств преобразования графической информации показывают, что вообще разрешающая способность современных средств кибернетики (в особенности устройств, имеющих сканеры с микрообъективами) превышает разрешающую способность зрительного анализатора человека, исключение составляет лишь более слабая способность машин к различению цветов окрашенных поверхностей. Вместе с тем способность машин к распознаванию спектральных цветов значительно выше возможностей зрения человека. Нет сомнения, что в будущем способность машин к распознаванию цветов окрашенных поверхностей достигнет уровня зрительного анализатора человека, а возможно, и превысит его.

В этой связи при определении количества возможных градаций по всем параметрам будем исходить в основном из возможностей зрительного анализатора. Рассмотрим критерии определения градаций для толщин линий.

Количество возможных градаций по толщине линий n_T является функцией минимальной толщины линии T_{\min} , максимальной толщины T_{\max} и оптимального коэффициента различения толщин линий ρ_{T, r_i} при яркостном контрасте r_i

$$n_T = f(T_{\max}, T_{\min}, \rho_{T, r_i}). \quad (\text{II.1})$$

Под оптимальным коэффициентом различения условимся понимать такой коэффициент, при котором обеспечивается достаточно надежная степень распознавания линий по их толщине на поле карты при соответствующем яркостном контрасте. Последний определяется из отношения яркости линии B_i к яркости фона B_0 .

Результаты исследований по определению оптимального коэффициента различения, приведенные в работе [12], показывают, что для растров с яркостным контрастом $r_i \approx 0,14$ (черные линии на белом фоне бумаги) коэффициент различения составляет $\rho_{T, r_i} = 1,55$. Это значение совпадает с данными М. К. Бочарова

[6] и вполне согласуется с его формулой, по которой можно рассчитать количество градаций раstra по толщине:

$$N_n = N_1 \cdot \rho_{T, r_t}^{n-1}, \quad (\text{II.2})$$

где N_1 — начальный параметр зрительного раздражителя, т. е. в данном случае минимальная толщина линии T_{\min} .

Так, например, при $T_{\min} = 0,1$ мм и $n_T = 6$ получим шкалу со следующими значениями: 0,1; 0,15; 0,25; 0,40; 0,60; 0,95 (с небольшим округлением в сотых долях). Однако если учесть возможности издания карт, то целесообразно рекомендовать следующую шкалу: 0,1; 0,2; 0,35; 0,55; 0,8; 1,2.

Рассмотрим принцип подсчета количества информации по комбинациям, используя теорию множеств и комбинаторику.

Подсчитаем, сколько подмножеств (в нашем случае комбинаций) имеет конечное множество. Множество, состоящее из одного элемента a (для нашего случая возьмем только цвет), имеет два подмножества: 0 и $\{a\}$. Здесь в число подмножеств включаем и пустое множество, и само множество. Множество, состоящее из двух элементов a и b , имеет уже четыре подмножества: 0 , $\{a\}$, $\{b\}$ и $\{a, b\}$. Иными словами, с помощью линий двух цветов a и b при постоянной их толщине можно получить четыре комбинации (условные обозначения), которыми можно заполнять контуры, если считать нулевую комбинацию, которую дает пустой контур. Если прибавить к множеству третий цвет c , то кроме уже найденных четырех комбинаций 0 , $\{a\}$, $\{b\}$ и $\{a, b\}$ появляется еще четыре комбинации $\{c\}$, $\{a, c\}$, $\{b, c\}$, $\{a, b, c\}$. Добавление каждый раз одного цвета удваивает число комбинаций. Следовательно, множество, содержащее n элементов (цветов), имеет 2^n подмножеств (комбинаций).

При проектировании легенды карты целесообразно придерживаться ограниченного количества цветов в пределах одного знака, поэтому важно определять число комбинаций с наперед заданным числом элементов в одной комбинации. Если множество содержит n элементов, то его подмножества, состоящие из k элементов, называют сочетанием из n по k или в этом случае из n цветов, используемых на карте, по k цветов в одной комбинации. Их число обозначается N_n^k . Основываясь на том, что общее число подмножеств равно 2^n , можно записать равенство

$$N_n^0 + N_n^1 + \dots + N_n^k + \dots + N_n^n = 2^n.$$

Вычисление чисел N_n^k можно произвести по формуле

$$N_n^k = \frac{n!}{k!(n-k)!}, \quad (\text{II.3})$$

где $k! = 1 \cdot 2 \cdot 3 \dots k$ и $0! = 1$.

По формуле (II.3) можно подсчитать количество комбинаций (по цветам или толщинам линий) без учета перестановок линий в группировке и повторов.

Рассмотрим информативность метода по количеству комбинаций, возникающих при всевозможных сочетаниях по толщине и цвету линий в группировке.

Первоначально рассмотрим принцип подсчета и построения образованных без учета определенного порядка сочетаний параметров линий, т. е. без учета возможности перестановки их внутри группировки, а затем принцип со всевозможными перестановками цветов и толщин линий раstra в группировке. Заметим, что свободные перестановки цветов и толщин линий раstra возможны только для группировок, между которыми существует интервал, который как минимум раза в два должен быть больше регулярного интервала, принятого между линиями в группировке, в противном случае комбинации не будут идентифицироваться.

По первому же принципу можно давать все линии с постоянной частотой, так как здесь отличие одной комбинации от другой будет идентифицироваться простым наличием в группировке определенных параметров по толщине и цвету независимо от их приоритета. Первый принцип получения комбинаций с постоянной частотой линий, в отличие от второго, обеспечивает построение знаков с равномерным растровым фоном, правда, он значительно уступает по информативности.

Примем за оптимальный вариант три толщины линии.

На основании трех толщин линий и одного цвета можно получить четыре комбинации, из которых одна нулевая: $0a$, $1a$, $2a$, $3a$. При двух цветах и сочетании до двух линий получим шестнадцать комбинаций: $\{0a, 0b\}$, $\{0a, 1b\}$, $\{0a, 2b\}$, $\{0a, 3b\}$, $\{1a, 0b\}$, $\{2a, 0b\}$, $\{3a, 0b\}$, $\{1a, 1b\}$, $\{1a, 2b\}$, $\{1a, 3b\}$, $\{2a, 1b\}$, $\{2a, 2b\}$, $\{2a, 3b\}$, $\{3a, 1b\}$, $\{3a, 2b\}$, $\{3a, 3b\}$ (где буквами обозначен цвет, а цифрами — номер толщины). Сочетания с тремя цветами в три линии дадут 64 комбинации, с четырьмя — 256 комбинаций и т. д. В результате получим ряд чисел: 4, 16, 64, 256, ..., образующих геометрическую прогрессию со знаменателем 4. В нашем случае знаменатель прогрессии равен количеству градаций толщин линий раstra вместе с нулевой. Используя формулу для n -го члена геометрической прогрессии, нетрудно получить после элементарных преобразований общее количество комбинаций

$$N = n_{T_0}^{n_c} - 1, \quad (\text{II.4})$$

где n_{T_0} — количество толщин линий вместе с нулевой; n_c — количество цветов, используемых в группировке. Заметим, что в этом случае максимальное количество линий разного цвета в группировке равно общему количеству используемых цветовых тонов.

С учетом количества группировок n_H (если между ними даются удвоенные интервалы) количество комбинаций можно рассчитать по формуле

$$N = (n_T^n - 1) n_H. \quad (II.5)$$

Наибольшую информативность имеет вариант со свободными перестановками внутри группы.

Количество возможных комбинаций для этого варианта можно рассчитать по формуле

$$N_{k_1} = (n_c \cdot n_T)^m, \quad (II.6)$$

где m — количество линий в группировке.

Из формулы видно, что комбинации дают возможность отображать сотни и даже тысячи качественно различных объектов с количественными характеристиками. Так, например, в тричной системе, когда $n_c=3$, $n_T=3$ и $m=3$, можно показать на карте 729 различных характеристик. Количество комбинаций, когда $n_c=1$ и $n_T=1$, определяется по формулам, соответственно,

$$N_{k_2} = n_T^m; \quad N_{k_3} = n_c^m. \quad (II.7)$$

При машинной обработке возможное количество комбинаций может ограничиваться только объемом памяти машины (при создании эталонов для распознавания). Машина может распознавать любые из вышеперечисленных комбинаций.

Об изобразительных свойствах растров по МРД и воспринимаемости их человеком и машиной

Изобразительные свойства растров по МРД рассмотрим в сравнении с традиционными картографическими способами изображения [68].

Вообще растр (или сетки различных конфигураций) как изобразительное средство в картографии известен давно. Принципиальное различие растров по МРД (с изобразительной точки зрения) состоит в одинаковой (единой) направленности любых построений и параметров линий растра. Это в некотором отношении ограничивает изобразительные свойства МРД по сравнению с произвольным растром (типографскими сетками), но вместе с тем МРД вносит строгую системность и логичность в построение знаков (что особенно важно для машинного чтения), обеспечивая высокую информативность. Последнее, как об этом можно судить по вышеизложенному, достигается параллельным нанесением линий растра различных параметров, благодаря

чему они воспринимаются раздельно при любых сочетаниях. При таком единстве стиля изображения достигается бóльшая возможность введения метрики не только для количественных, но и для качественных признаков, а также возможность более точного сопоставления и оценки информации.

Такая возможность отсутствует в традиционном растровом изображении. Основная задача традиционного растрового изображения, как известно, состоит в построении единого цветового поля путем наложения, т. е. перекрытия различных по параметрам сеток, различающихся не только по цвету и толщине линий, но и по конфигурации. Цель таких построений — уменьшить количество красок при издании и создать выразительную и наглядную форму представления информации.

В отличие от традиционного картографического языка МРД представляет собой единый формализованный в графическом и алгоритмическом отношении картографический язык. С изобразительной точки зрения МРД позволяет создавать единство цветового поля за счет эффекта пространственного смещения цветов. Как известно, эффект пространственного смещения цветов наблюдается, когда поверхность бумаги, покрытая цветными линиями, на определенном расстоянии воспринимается слитной, однотонной. Полностью сглаженный, равномерный тон достигается, когда линии неразличимы. Однако единство цвета в восприятии параллельно нанесенных линий разного цвета наблюдается и тогда, когда линии еще достаточно хорошо различимы за счет регулярной повторяемости одноцветных линий по полю. Этот эффект двойственности восприятия лежит в основе изобразительных свойств МРД. Заметим, что МРД допускает наличие слабых фонов заливки, на которые затем могут накладываться линии раstra (таким способом была отпечатана экспериментальная геологическая карта).

Важным свойством растров по МРД является их хорошая воспринимаемость человеком и машиной.

В качестве примера сделаем сравнительный анализ отображения дискретной информации по МРД с традиционным точечным способом. Как известно, точечный способ имеет довольно широкое применение на традиционных картах, где он используется в основном для отображения рассеянных объектов (например, при составлении карт населенных пунктов).

Под воспринимаемостью будем понимать разрешающую способность и логико-анализирующие возможности к восприятию изображения человеком и машиной.

Разрешающая способность зрения к восприятию точек и линий различна. В результате исследований в области инженерной психологии установлено, что величины угловых поперечников, при которых «средний» глаз может воспринимать достаточно надежно, составляют: для точек 30—60", для линий 5—10".

Эти данные относятся к линиям и точкам, выполненным черным цветом на белом фоне.

Порог различения по цвету и яркости для линий также меньше, чем для точек. Оценка при соотношении размеров площадей, покрытых линейным растром, осуществляется более точно, чем площадей, покрытых точками. Объяснение последнего факта состоит не только в психофизических свойствах зрения, а прежде всего в самой методике представления информации МРД. Если система точек является абсолютно дискретной формой представления информации (двумерная дискретность), то линейный растр по МРД является полудискретным, т. е. вдоль линии имеем непрерывное или непрерывно-дискретное изменение количества информации (дискретность в одном измерении). Таким образом, можно сказать, что МРД обеспечивает более точное и более метричное отображение информации, чем точечный способ.

Рассмотрим, какова воспринимаемость машиной точечного изображения и линейного растрового изображения.

Считывание таких изображений наиболее целесообразно осуществлять построчной разверткой (сканированием). Подсчитать количество точек и их размер, а затем определить количественное значение на заданный район в принципе возможно, но для этого необходимо сложное сканирующее устройство с шагом развертки меньше 0,1 мм. Для того чтобы получить необходимую информацию о точке (т. е. о ее параметрах) при обработке в ЭВМ, необходимо просканировать ее несколькими строками (как минимум две строки на точку) и затем осуществить анализ в двумерном пространстве. Даже при большом количестве строк сканирования трудно рассчитывать на достаточно точное получение значения диаметра точки.

Существенно проще обстоит дело со считыванием и обработкой информации, представленной линейным растром по МРД. Благодаря перпендикулярному направлению строк сканирования по отношению к линиям раstra возможно довольно точное определение толщины линии. Смещение строк сканирования в ту или иную сторону может вызвать ошибку только по длине линии, причем не более 1 шага развертки. Считывание изображения может осуществляться несложными устройствами.

Определение толщин линий и вообще распознавание информации по сочетаниям параметров раstra может осуществляться в одномерном пространстве (в отличие от традиционных изображений, требующих двумерного анализа).

В заключение следует отметить, что МРД обладает более высокой «воспринимаемостью» машиной и человеком, чем традиционные способы изображения. Кроме того, линейный растр проще и для построения картографических изображений с помощью графопостроителей и ЭВМ, что подтвердилось не только нашими опытами, но и опытами зарубежных авторов [84].

9. ОТОБРАЖЕНИЕ НЕПРЕРЫВНО-ДИСКРЕТНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Рассмотрим различные варианты отображения пространственной информации по МРД, представляемой ограниченными связными областями в виде функций нескольких переменных. Некоторые из предлагаемых вариантов (только с качественной характеристикой) совпадают с традиционным определением качественного фона и ареала. Для тех, которые содержат кроме качественных еще и количественные параметры, можно дать такое название: *многопараметрический качественный фон* и *многопараметрический ареал*.

Связные области, представленные на карте в виде контуров, заполненных растрами, параметры которых соответствуют различным качественным и количественным характеристикам отображаемых объектов или явлений, можно выразить в виде сложной функции:

$$q_i = F(p_i(x, y)),$$

где p_i ($i=1, 2, \dots, n$) — некоторые графические параметры раstra (толщина линий, цвет и пр.); q_i ($i=1, 2, \dots, n$) — качественные и количественные характеристики объектов или явлений, соответствующие параметрам раstra. При этом функция $p_i = p_i(x, y)$ определена в области, граница которой определена неявным образом ($q_i(x, y) = 0$) или параметрически

$$\begin{cases} x_i = x_i(t), \\ y_i = y_i(t), \end{cases} \quad 0 \leq t \leq T.$$

Наиболее простым является отображение однокачественных контуров, которые могут быть показаны растрами какого-либо одного параметра с внешней линией контура (рис. 6, а) и без нее (рис. 6, б). Контурные могут быть в виде односвязных областей 3, 4, 6, в виде двусвязных — 1, 5, трехсвязных — 2, а в отдельных случаях четырехсвязных и более.

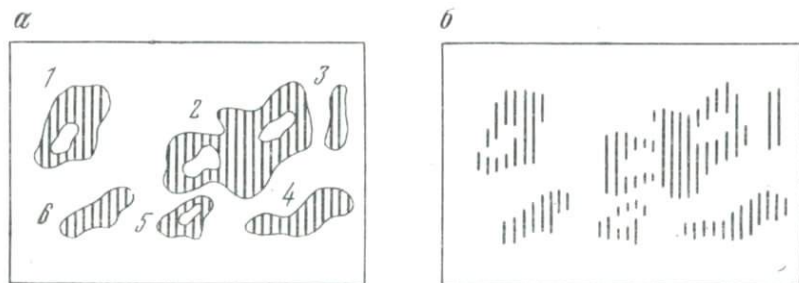


Рис. 6

Представление информации на карте в виде многокачественных контуров встречается наиболее часто (например, карта

контуров лесных массивов, карта различных пород деревьев, карта сельскохозяйственных угодий и пр.).

По МРД количественная характеристика объектов может быть передана толщиной линий растра или частотой линий. Качественные характеристики объектов лучше всего передавать цветом или сочетанием линий различного цвета в пределах контура (рис. 7).

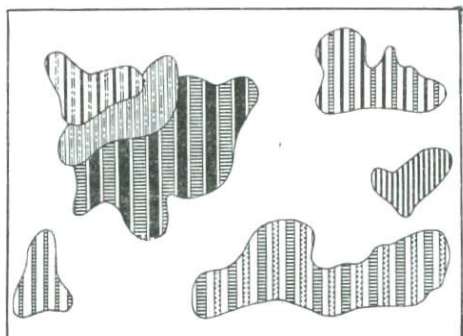


Рис. 7

В зависимости от числа качественных признаков используются различные варианты комбинаций параметров растра.

При малом числе качественно различных объектов или явлений целесообразно показывать их различие цветом, чтобы параметры по толщине и частоте можно было использовать для показа количественных характеристик.

При большом числе качественно различных объектов (порядка нескольких десятков и даже сотен) целесообразно использовать комбинации по цвету и толщине с показом внутри контура одновременно нескольких цветов, а для еще более сложных случаев — группировки с перестановками по цвету и толщине.

Рассмотрим теперь в формальных позициях. Допустим, в трех областях нужно задать качественную характеристику z и количественную q с условием, что качественная характеристика постоянна, например, породы деревьев.

Пусть Z — породы деревьев, а z — соответствующая графическая характеристика. Тогда

$$Z = F(z(x, y)),$$

где функция z определена в области $q_z(x, y) \leq 0$, соответствующей распространению Z породы. Функция z определена внутри этой области и имеет одно из трех значений (не числовое, а просто элемент из трехэлементного множества $\{a, b, c\}$, где, например, a — береза, b — осина, c — ель).

Функцию F можно представить таблицей:

z	Z
a	береза
b	осина
c	ель

Рассмотрим формулы расчета количества комбинаций параметров линий раstra внутри контура, начиная от простых и заканчивая сложными. Если в пределах контура дается один цвет, то количество комбинаций можно рассчитывать по формуле

$$N_{\left(\begin{smallmatrix} m_C=1 \\ m_K=1 \end{smallmatrix}\right)} = n_T \cdot n_C. \quad (\text{II.8})$$

Если при этом допускаются комбинации в две линии разной толщины в пределах контура, то для подсчета можно воспользоваться формулой

$$N_{\left(\begin{smallmatrix} m_C=1 \\ m_K=2 \end{smallmatrix}\right)} = \frac{1}{2} [n_T \cdot n_C (n_T + 1)], \quad (\text{II.9})$$

где n_T — количество толщин линий, используемых в комбинациях всей легенды карты; n_C — количество цветов, используемых в комбинациях всей легенды карты; m_C — количество цветов, используемых в комбинации в пределах контура; m_K — количество линий в группировке, составляющих комбинацию по толщине и цвету в пределах контура.

Количество всевозможных комбинаций по цвету и толщинам линий раstra для случая (рис. 7), когда в пределах контура даются два цвета, можно рассчитать по формуле

$$N_{\left(\begin{smallmatrix} m_C=2 \\ m_K=3 \end{smallmatrix}\right)} = \frac{1}{2} (n_T^2 \cdot n_C^2 + n_T \cdot n_C). \quad (\text{II.10})$$

Так, например, при трех толщинах линий ($n_T=3$) и трех цветах ($n_C=3$) $N_{\left(\begin{smallmatrix} m_C=2 \\ m_K=3 \end{smallmatrix}\right)} = 45$.

Если использовать группировку в две линии с перестановками по толщине и цвету (в этом случае в качестве еще одного отличительного признака используется порядок положения линий в группировке), то количество комбинаций возрастает (см. рис. 5, в, контуры 1, 2). Их количество можно рассчитать по формуле

$$N_{\left(\begin{smallmatrix} m_C=2 \\ m_K=2 \end{smallmatrix}\right)}^{(2)} = (n_T \cdot n_C)^2. \quad (\text{II.11})$$

Для более сложных случаев отображения, когда дается пять переменных и более, т. е. когда отображается несколько качественных и количественных характеристик в пределах одной области, можно использовать сочетания по толщине и по цвету в группировке из трех линий с различными перестановками (см. рис. 5, в, контуры 3, 4). Количество комбинаций рассчитывается по формуле

$$N_{\left(\begin{smallmatrix} m_C=3 \\ m_K=3 \end{smallmatrix}\right)}^{(3)} = (n_T \cdot n_C)^3. \quad (\text{II.12})$$

Отображение информации по МРД с группировкой в три линии в дальнейшем условно будем называть *троичным растровым кодом* (ТРК), а для группировки в две линии — *двоичным растровым кодом* (ДРК). Основное достоинство ТРК состоит не только в возможности отображать одновременно большое количество качественных и количественных характеристик объектов или явлений, но очень важным является то, что при таком отображении представляется возможным показать общее и частное и при этом их структуру и компоненты, составляющие качественно различные признаки. Представляется возможным проследить распространение тех или иных элементов раздельно и в комплексах, образующих обобщенные характеристики качественно различных явлений.

При картографировании природных, а иногда и социально-экономических объектов или явлений наблюдаются случаи, когда качественно различные явления имеют взаимное проникновение. Тогда возникает необходимость представления информации в виде пересекающихся областей, причем иногда с многократными пересечениями. В традиционной картографии пересекающиеся области чаще всего показывают как качественно иные явления в виде односвязных ограниченных областей. Каждая такая область в легенде карты имеет свое условное обозначение с соответствующим объяснением. Естественно, что такое представление информации на традиционных картах не дает наглядной картины пространственного распространения явлений, так как по такому изображению нет возможности определить соотношение и состав элементов, входящих в тот или иной комплекс.

Отображение пересекающихся областей может быть сравнительно легко реализовано с применением МРД. Последний позволяет отображать пересекающиеся области как в виде функций трех переменных, так и в виде функций n переменных. На рис. 8, *а* показан вариант однократного пересечения областей, а на рис. 8, *б* — многократного. Это не что иное как пересечение множеств, которое можно представить в виде их произведения,

$$\begin{aligned} A \cap B &= C_1; \\ B \cap B &= C_2; \\ A \cap B \cap B &= C_3. \end{aligned} \quad (\text{II.13})$$

Каждая область представлена в виде функции трех переменных. На рис. 9 показан вариант пересечения областей, представленных в виде функции четырех переменных.

В качестве типичного примера из среды природных объектов, нуждающихся в отображении в виде пересекающихся областей, можно назвать леса. Для лесов характерно взаимное проникновение различных пород деревьев, т. е. смешение пород

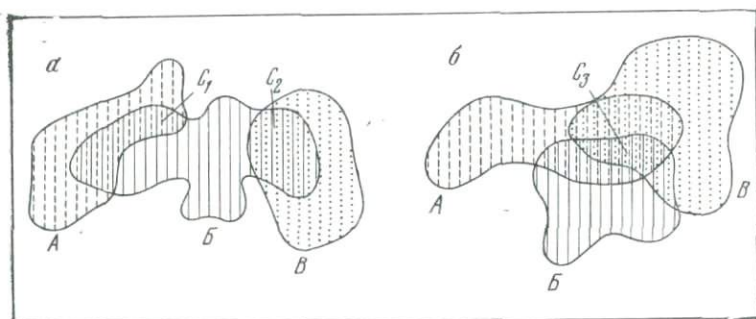


Рис. 8

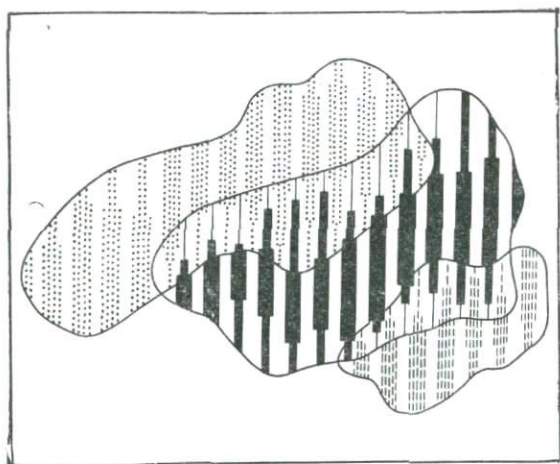


Рис. 9

деревьев с одновременным сохранением отдельных массивов достаточно однородных пород. При этом очень важна характеристика плотности древостоя.

10. ОТОБРАЖЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ ДИСКРЕТНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ

Точное и достоверное отображение основных параметров пространственного распределения дискретной информации в пределах границ (административных, географических и др.) очень важно для карт научно-производственного использования. Например, отображение распределения населения с передачей плотности, общего количества, национального и социального состава, деления по возрасту, трудоспособности, полу и т. д.; распределения различного рода экономических показателей, на-

пример, сельскохозяйственных животных, обрабатывающих машин и пр., с передачей их плотности, общего количества, видового состава и пр. Для отображения такой дискретной информации в традиционной картографии чаще всего используется способ картограммы и точечный способ. Оба эти способа не обеспечивают возможность отображения одновременно нескольких параметров распределения объектов с их точными количественными значениями. При создании карт научно-производственного использования, предназначенных для снятия точных данных с целью их последующей обработки, приближенное представление информации, рассчитанное только на общую зрительную оценку, неприемлемо.

С целью создания карт, отвечающих вышеуказанным требованиям научно-производственного использования, предлагаются два способа:

1) отображение многопараметрической непрерывной картограммой, передающей количественные характеристики (плотность, интенсивность и пр.) в виде линий различной частоты и толщины, а качественные характеристики — в виде линий различного цвета;

2) отображение цифровыми кодовыми знаками, представляющими собой компактные построения из линий определенной длины и толщины с различными весовыми значениями в десятичной системе.

Заметим, что второй способ, так же как и первый, допускает отображение качественных признаков объектов посредством использования линий различного цвета [56].

Отображение дискретной информации способом многопараметрической непрерывной картограммы по МРД

Рассматриваемый способ дает возможность отображать одновременно, в пределах заданных территориальных единиц, плотность и абсолютное количество объектов, качественные признаки и их количественные соотношения, выраженные в процентах. В отдельных случаях возможно показать еще несколько характеристик, если дополнительно давать линии (с более слабой насыщенностью по цвету) в перпендикулярном направлении. Однако к последнему варианту следует подходить с осторожностью, так как он может серьезно затруднить читаемость карты.

Важным обстоятельством является то, что карта, составленная по предлагаемому способу, позволяет снимать с нее точные данные с помощью измерителя и линейки и с помощью автоматических средств при сохранении хорошей наглядности.

Исходной информацией для составления карт способом многопараметрической непрерывной картограммы по МРД являются статистические сведения и цифровые данные о координатах

границ территорий и их площадей или графические данные границ на район картографирования. Вообще, будем исходить из того случая, когда данные о площади и координаты территории отсутствуют. Этот случай следует считать наиболее вероятным. Первоначально необходимо провести работы по определению площадей и координат границ территории. Эта процедура может быть проделана с помощью автоматических считывающих устройств и ЭВМ.

Рассмотрим методику построения карт, характеризующих плотность дискретных объектов по территориальным единицам.

В зависимости от колебаний плотности в пределах картографируемой области могут быть два варианта решения. Рассмотрим случай, когда колебания плотности дискретных объектов незначительны. Для этого случая может оказаться достаточным использование только частоты линий раstra (при одинаковой толщине всех линий).

В зависимости от количества дискретных объектов, площади территории, к которой они относятся (т. е. в пределах которой они отображаются), и веса на единицу длины линий раstra частота линий может принимать различные значения. Расчет частоты линий осуществляется по следующей формуле:

$$l = \frac{S \cdot p}{0,01 \cdot N \cdot M^2}, \quad (\text{II.14})$$

где l — расстояние между осевыми линиями раstra, мм; S — площадь территории, км²; p — вес, который выражает количество объектов на единицу длины (например, на 1 мм или шаг развертки сканера); M — знаменатель масштаба составляемой карты, км; N — количество объектов.

Очевидно, что чем меньше l , тем больше частота линий и соответственно выше плотность и, наоборот, чем больше l , тем меньше плотность. При выборе веса p необходимо исходить из оптимального варианта, т. е. чтобы на территории с самой большой плотностью объектов линии раstra имели максимально допустимую частоту, а при малой плотности не были бы чрезмерно разрежены.

Если же колебания плотности объектов в пределах картографируемой области настолько существенны, что в местах низкой плотности объектов растр оказывается чрезмерно разреженным, а в местах высокой плотности чрезмерно частым (особенно опасно, если это приводит к слиянию при печати), то целесообразно применить принцип разновесовых единиц длины p_1, p_2, \dots, p_j с дифференциацией их по толщине или яркостному контрасту линий (при отсутствии качественных различий можно по цветовому тону).

Опыт показал, что в большинстве случаев достаточно ввести два-три различных веса и соответственно две-три линии различной толщины.

Рассмотрим более подробно методику проектирования карты. Главным при проектировании карты является определение оптимальных весов p_1, \dots, p_j . Рекомендуется первоначально найти по формулам

$$\left. \begin{aligned} p_{\max} &= 0,01 \cdot l_{\min}^{(T_{\max})} \cdot P_{\max} \cdot M^2 \\ p_{\min} &= 0,01 \cdot l_{\max}^{(T_{\min})} \cdot P_{\min} \cdot M^2 \end{aligned} \right\}, \quad (\text{II.15})$$

где $P = \frac{N}{S}$ (т. е. плотность дискретных объектов на 1 км^2);

$l_{\min}^{(T_{\max})}$ — минимально возможное расстояние между осевыми линиями раstra при максимальной толщине или яркостном контрасте с учетом градаций, количество которых равно числу принимаемых весов; $l_{\max}^{(T_{\min})}$ — максимально возможное расстояние между осевыми линиями раstra при минимальной толщине T_{\min} .

Параметры T_{\min} , T_{\max} рассчитываются в соответствии с количеством градаций. Величина l_{\max} выбирается таким образом, чтобы соблюдалось условие

$$l_{\max} \leq \frac{L_y}{3}, \quad (\text{II.16})$$

где L_y — протяженность области по оси y , имеющей значение P_{\min} . Иными словами, необходимо, чтобы в область с минимальной плотностью вписывалось не менее двух линий. Это условие должно распространяться и на области с плотностью выше минимальной, но имеющих конфигурацию территории, вытянутую вдоль оси x . Величина l_{\min} определяется по формуле (II.14), при этом интервал между линиями рассчитывается с учетом оптимального порога зрительного восприятия, возможностей полиграфии и считывающих устройств (порядка $0,1 \div 0,2 \text{ мм}$).

Если различия в весах давать не толщиной линии, а яркостным контрастом или по цветовому тону, то параметр T остается постоянным, т. е. $T_{\min} = T_{\max}$. В этом случае отображение будет более точным, так как для $T = \text{const}$ можно принять минимальное значение, а это значит, что расстояние между осевыми линиями будет меньше, следовательно, и вес будет меньше. Очевидно, что чем меньше вес, тем точнее отображение. О количестве весов можно судить по различию p_{\max} и p_{\min} . Если $p_{\max} \leq p_{\min}$, то можно принять один вес p_{\max} . Если $p_{\max} > p_{\min}$, принимается как минимум два веса. Для более точного отображения целесообразно применять несколько весов. О количестве весов можно судить еще по разнице в значениях p_{\min} и p_{\max} : чем больше разница, тем больше весов. Количество весов определяется также назначением, масштабом и той точностью и детальностью, которая предъявляется к карте.

При составлении карты распределение весов с равными интервалами в их значениях может быть выполнено по следующему несложному расчету:

1) находится значение интервала

$$\Delta p = \frac{p_{\max} - p_{\min}}{n - 1}, \quad (\text{II.17})$$

где n — количество весов;

2) строится шкала весов

$$\left. \begin{array}{l} p_1 = p_{\min} \\ p_2 = p_1 + \Delta p \\ \dots \dots \dots \\ p_j = p_{j-1} + \Delta p \\ \dots \dots \dots \\ p_n = p_{\max} \end{array} \right\}; \quad (\text{II.18})$$

при этом веса округляются в большую сторону;

3) распределяются области по весам с разными интервалами по плотностям

$$\left. \begin{array}{l} P_{\min} \div P_{\min} + \Delta P \text{ для веса } p_1 \\ P_{\min} + \Delta P \div P_{\min} + 2\Delta P \text{ » » } p_2 \\ \dots \dots \dots \\ P_{\min} + n \cdot \Delta P \div P_{\max} \text{ » » } p_n \end{array} \right\},$$

где

$$\Delta P = \frac{P_{\max} - P_{\min}}{n - 1}.$$

После нахождения значений весов приступают к определению частоты линий на каждую территориальную единицу по формуле (II.14). Учитывая, что в этой формуле отношение

$\frac{p_j}{0,01 M^2}$ есть величина постоянная для всех областей, которые имеют вес p_j , обозначим

$$\frac{p_j}{0,01 M^2} = \theta_j,$$

а так как $P = \frac{N}{S}$, то формула примет следующий вид:

$$l_i = \theta_j \frac{1}{P}. \quad (\text{II.19})$$

В тех случаях, когда дается один вес, параметр по толщине линии можно использовать для отображения какой-либо другой характеристики. Для отображения качественных характеристик объектов целесообразно использовать цвет.

Для упрощения в последующем качественные различия объектов будем называть показателями.

Количественные соотношения качественно различных объектов можно передавать в процентах. Например, приняв за 10% одну, заполняющую контур линию (при этом, разумеется, группировка должна состоять из 10 линий), процентное соотношение может быть передано количеством линий в группировке. Если требуется, чтобы точность отображения была выше 10%, то можно отдельные проценты показать пропорциональными отрезками по длине дополнительно к группировке. В упрощенном варианте одну линию можно принять за 20%, тогда группировка будет состоять из 5 линий. Рекомендуется, чтобы линии одного показателя в группировке компактно объединялись, т. е. были соседними друг к другу.

Возможен и такой вариант, когда процентное соотношение по качественно различным показателям дается вдоль каждой линии от границы до границы. При этом для обеспечения равномерности распределения показателей в пределах границ территорий цвета, обозначающие качественно различные объекты, на каждой последующей линии должны иметь обратный порядок по отношению к предшествующей линии.

Следует заметить, что независимо от числа качественных характеристик частота линий дается в соответствии с общей плотностью всех показателей.

По таким картам можно получать следующие данные:

- 1) плотность объектов в целом по отдельным областям и в среднем на группу областей;
- 2) плотность объектов по отдельным качественным признакам, составляющим комплексы;
- 3) процентное соотношение по показателям;
- 4) количество объектов в целом по отдельным областям и на группу областей;
- 5) количество объектов по показателям;
- 6) площадь каждой области и на группу областей.

По каждой из вышеперечисленных характеристик могут быть легко получены конкретные данные с помощью простейших принадлежностей (линейки и измерителя) и автоматическими средствами. Рассмотрим возможности снятия с карт данных по каждой из характеристик.

1. Значения плотности объектов P можно получить по формуле

$$P = \frac{P}{0,01 \cdot l \cdot M^2} . \quad (\text{II.20})$$

Как видно из формулы, для определения плотности достаточно одного измерения, т. е. измерить расстояние между осевыми линиями растра. Для удобства снятия значений плотности рекомендуется составить специальную номограмму, по горизонтальной оси которой откладывается плотность объектов на 1 км², а по вертикальной — деления в весовых единицах длины

в миллиметрах. На рис. 10, а показана карта-схема населения Казахстана и соответствующая ей номограмма (рис. 10, б). Для каждого весового значения ρ_1, ρ_2, ρ_3 номограммы дается своя кривая.

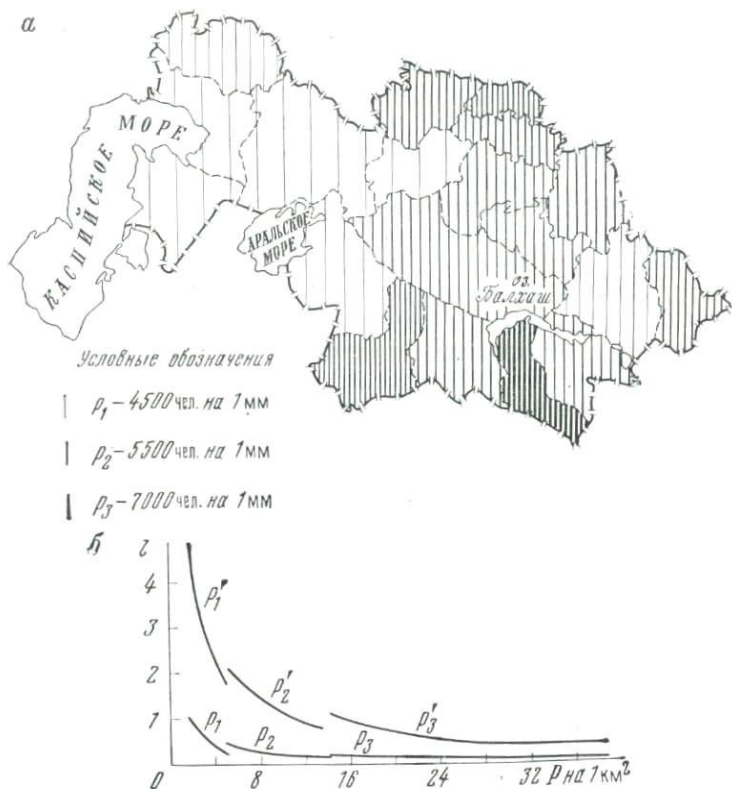


Рис. 10

Расчет кривых осуществляется по формуле (II.19). В соответствии со шкалой плотностей, указанной на горизонтальной оси номограммы, рассчитываются точки положения кривой.

Для того чтобы повысить точность считывания с карты данных о плотности с помощью измерителя и линейки (особенно для тех мест, где наблюдается высокая плотность и линии очень часты), рекомендуется дополнительно дать кривые с увеличенными в несколько крат весами, например, с пятикратным увеличением соответственно для каждого веса. На рис. 10, б вверху даны дополнительные кривые $\rho_1', \rho_2', \rho_3'$ с пятикратным увеличением веса. Тогда, очевидно, в местах с высокой частотой линий измерение плотности необходимо производить не между соседними линиями, а через 5 интервалов.

Следует заметить, что толщины линий целесообразно давать в пропорциональном соответствии с принятыми весами, чтобы при считывании информации по этим картам интегральным способом, т. е. устройствами с большим полем зрения считывающей головки, достигалось пропорциональное соответствие выходного сигнала с плотностью дискретных объектов на карте.

Для дифференцированного способа считывания пропорциональность толщин линий с весами не требуется.

2. Плотность объектов по показателям определяется также с помощью номограммы. Если плотность конкретного показателя представлена одной линией в чередовании с остальными, т. е. в группировке, то измеряется расстояние между линиями одинакового цвета, присвоенными данному показателю. Затем откладывается на номограмме и по соответствующей кривой и горизонтальной оси считывается значение плотности. Если же плотность данного показателя представлена несколькими подряд идущими линиями в группировке, то измеряется интервал между начальными одноцветными линиями двух соседних группировок, обозначающих этот показатель. Считанное с номограммы значение умножается на число, соответствующее количеству одноцветных линий в группировке, обозначающих данный показатель. Полученное значение будет характеризовать с некоторым приближением плотность этих показателей.

При отсутствии номограммы плотность объектов по показателям P может быть рассчитана по формуле

$$P = \frac{p}{0,01 \cdot l' \cdot M^2} \varepsilon, \quad (\text{II.21})$$

где ε — количество линий, обозначающих данный показатель в группировке; l' — интервал между начальными одноцветными линиями двух соседних группировок, обозначающих этот показатель.

3. Процентное соотношение объектов по показателям определяется по формуле

$$N\% = 100 \frac{\varepsilon}{F}, \quad (\text{II.22})$$

где $N\%$ — процент данных показателей от всех показателей района; F — суммарное количество линий всех показателей в группировке.

4. Количество объектов на район определяется как суммарная длина всех линий $\sum_{i=1}^n L_i$, попадающих в пределы района, умноженная на вес p_i . Общее количество объектов $N_{\text{общ}}$ на m районов выразится формулой.

$$N_{\text{общ}} = \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^n L_{k,i} p_i, \quad (\text{II.23})$$

где i — номер линии; k — номер района.

5. Количество объектов по показателям определяется аналогичным образом, как и в целом для объектов, с той лишь разницей, что берется дифференцированно, т. е. только для тех линий, которые обозначают соответствующий показатель.

6. Площадь района определяется по формуле

$$S = \sum_{i=1}^n L_i \cdot l \cdot M^2. \quad (\text{II.24})$$

Рассматриваемая методика отображения и считывания дискретной информации растровым фоном применима для многих объектов, имеющих дисперсный характер распространения, например, для дисперсных геологических объектов на геохимических картах, на картах полезных ископаемых, для населения на демографических картах и тому подобное.

Отображение дискретной информации цифровыми кодовыми знаками, локализованными в пунктах и по площади

Для отображения дискретных объектов, локализованных в пунктах и на малых площадях, могут быть применены способы отображения по МРД, более точно характеризующие размещение их в пространстве.

Предлагается способ представления информации в виде цифровых кодовых знаков. Способ позволяет показать в каждом пункте локализации или концентрации объектов не только действительное (точное) количественное значение объектов, но и ряд дополнительных характеристик при сохранении наглядности размещения.

При определении весовых соотношений кодовых значков оптимальным вариантом следует считать тот, который обеспечивает не только компактное и емкое изображение по форме и точное по своему количественному значению, но и достаточно наглядное для зрительного восприятия. Форма знака по совокупности растровых линий должна обеспечить на карте, при ее визуальном чтении, возможность общей оценки количественных соотношений дискретных объектов.

На рис. 11 приведено несколько вариантов кодовых значков. Вариант *а* на рис. 11 представляет собой комбинацию из трех толщин линий одинаковой длины, самая тонкая линия имеет вес 10, средняя 100 и утолщенная 1000. Вариант *б* имеет те же весовые значения, только с целью придания значку большей компактности дается комбинация в половину длины линии, т. е. в половину весового значения. Вариант *в* показывает еще более компактное построение знака. Можно строить кодовые значки с введением делений в $\frac{1}{5}$ или $\frac{1}{10}$ длины линии, тогда может обеспечиваться абсолютное количественное выражение объектов

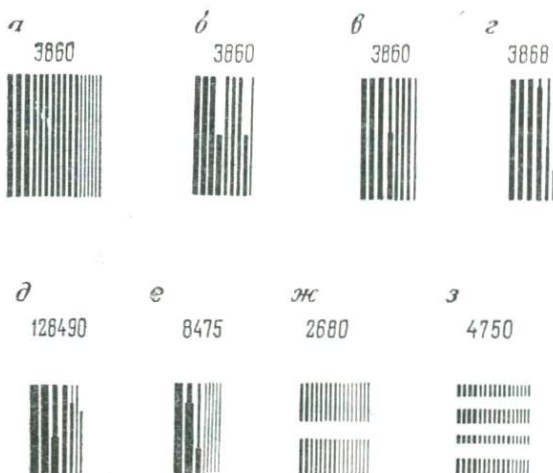


Рис. 11

(вариант *г*). В этом случае значок будет более емкий, но хуже читаемый. В зависимости от назначения карты и требований, предъявляемых к ней с точки зрения точности отображения информации, линиям можно придавать различный вес. Так, варианты *д*, *е*, имеют совершенно другие весовые значения. Вес самой тонкой линии составляет 50, второй по толщине линии 500, третьей — 5000 и четвертой — 50 000. По вертикали (вариант *г*) знак делится на 5 частей, таким образом, $\frac{1}{5}$ самой тонкой линии составляет 10, отсюда точность отображения ± 5 .

Проведенные опыты по созданию карт такого типа показали, что кодовыми значками можно показывать не только общую численность объектов, но и их качественные признаки. Для этого в пределах значка используют различные цвета или другие построения. На рис. 11 показан значок, разделенный на две части (вариант *ж*), и значок (вариант *з*), разделенный на четыре части. Например, вариант *ж* может быть использован на демографических картах для показа процента трудоспособного населения — вверху знака, а внизу — нетрудоспособного. Второй вариант *з* целесообразно использовать для показа национального состава населения, если значки на карте одноцветны. Местоположение национальности в знаке устанавливается последовательно сверху вниз по преобладанию той или иной национальности из расчета всей картографируемой территории.

Таким образом, на одноцветной карте представляется возможным показать не только точное значение объектов в пункте, но и процентные соотношения по показателям.

С использованием цвета возможности отображения информации кодовыми знаками существенно возрастают. Цвет можно

использовать для показа внутри знака различных по цвету линий, качественных признаков, миграции элементов и др. характеристик.

Выше рассмотрен способ отображения дискретной информации цифровыми кодовыми знаками, локализованными только по пунктам, однако кодовые знаки могут широко использоваться с локализацией по площадям в виде ареала распространения дискретных объектов. В этом случае кодовые знаки целесообразно давать в виде отрезков линий различной длины, распределяя их в пределах области распространения тех или иных объектов.

11. СПОСОБ МУЛЬТИМАСШТАБНОГО ОТОБРАЖЕНИЯ ПЛОЩАДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Сущность способа мультимасштабного отображения площадных объектов

Повышение точности и детальности отображения площадных объектов имеет большое значение, в особенности тогда, когда они мелки и сильно рассеяны по полю.

Наиболее трудным представляется отображение не изображающихся в масштабе карты площадных объектов. Такие объекты в традиционной картографии исключаются или даются внемасштабным знаком. Внемасштабное отображение не дает возможности оценить их действительную площадь и получить какое-либо представление о форме контура. Для объектов, имеющих высокую степень рассеянности, очень существенно отобразить действительную картину пространственного распространения с сохранением их формы и площади.

Проведенные теоретические и практические разработки показали, что метод растровой дискретизации позволяет положительно решить эту задачу, т. е. допускает возможность отображения объектов практически с любой степенью их малости (ограничения налагаются только на случаи высокой плотности объектов), при этом сохраняются размеры их площадей, точность локализации и в определенной степени форма контуров [57].

В основу предлагаемой методики положена идея создания равновесной в площадном отношении системы растров, у которой каждая градационная ступень по толщине (или по цвету) линии раstra имеет как бы свой масштаб, более крупный, чем масштаб карты, за исключением первой ступени, которая дается в масштабе карты.

Допустим, что мы задались следующими весами: p_1, p_2, \dots, p_k с толщинами линий раstra соответственно T_1, T_2, \dots, T_k . Для крупных контуров, изображающихся в масштабе карты, вес для первой ступени градации, отличающейся наибольшей толщиной линии (в нашем случае T_1), можно условно приравнять

единице. Тогда вес для контуров, не изображающихся в масштабе карты, уменьшится в определенное количество раз в соответствии со степенью увеличения контуров, при этом толщины линий соответственно уменьшаются (рис. 12).

При определении значений весов для ступеней градаций (выражаемых в единицах площади) учитывают частоту, толщину и элементарную длину линий, принятую за дискретный отрезок, например, 1 мм или шаг развертки сканера.

Поскольку в данном методе при машинном считывании элементарная площадка определяется шагом развертки сканера d , делящим линии на дискретные отрезки, а при визуальном считывании дискретным отрезком будет цена деления измерительного прибора (например, линейки), то формула для площадного веса первой градации p_1 будет представлять собой произведение дискретной длины линии d на интервал между осевыми линиями раstra l и квадрат знаменателя масштаба M^2 :

$$p_1 = d \cdot l \cdot M_1^2. \quad (\text{II.25})$$

Аналогично можно записать и для других весовых градаций с той лишь разницей, что у них будет свой масштаб,

$$\left. \begin{aligned} p_2 &= d \cdot l \cdot M_2^2 \\ &\dots \dots \dots \\ p_k &= d \cdot l \cdot M_k^2 \end{aligned} \right\}. \quad (\text{II.26})$$

Минимальная величина l_{\min} , определяющая частоту линий раstra, зависит от суммы двух величин — максимальной толщины линий T_{\max} и промежутка между линиями e :

$$l_{\min} = e + T_{\max}. \quad (\text{II.27})$$

Учитывая, что от величины e зависит точность отображения информации, ее целесообразно брать предельно малой в соответствии с разрешающей способностью системы считывания, зрения (если ставится задача визуального различения) и разрешающей способности носителя информации (если имеются в

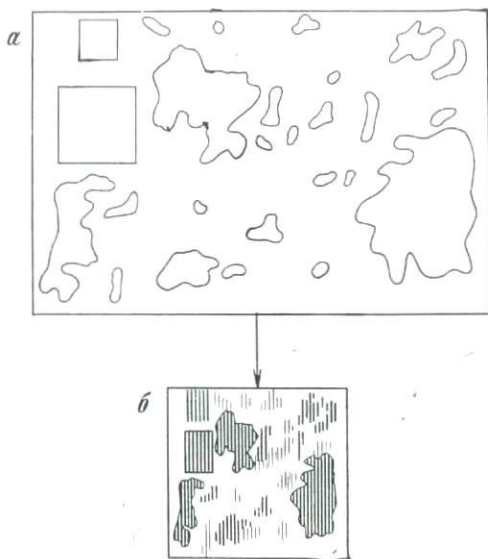


Рис. 12

виду карты на бумаге, то необходимо учитывать весь издательский процесс).

Такой подход к определению величины e возможен, когда отображается однородное в качественном отношении явление (в виде качественного фона), но когда ставится задача отображения в пределах одного контура нескольких явлений по принципу сочетаний линий разного цвета или мелких вкраплений разнокачественных объектов на фоне однокачественного крупного по площади объекта, величина l_{\min} для одноцветных линий (однокачественных объектов) увеличивается в два, три раза и более в зависимости от количества одновременно пересекающихся контуров в результате их растяжения.

В тех случаях, когда плотность объектов невысокая и они могут быть показаны без пересечения, площадные веса могут быть взяты произвольно, т. е. может быть допущено изменение не только масштаба M , но и интервала l . Учитывая, что в крупных весах толщины линий берутся меньше, интервал l целесообразно взять также меньше, благодаря чему повысится точность отображения.

Такой вариант особенно целесообразен в тех случаях, когда требуется достаточно точно отобразить площадь и форму мелких площадных объектов, не изображающихся в масштабе карты.

Особенность способа, с точки зрения психологии восприятия, состоит в оценке площади не только по величине контура, но и по его весовому значению, выраженному толщиной линий: чем толще линия (контрастнее и темнее контур), тем площадь больше и, наоборот, чем светлее контур, тем меньше площадь.

Поскольку в этом способе площадь контура S определяется измерением общей длины линий путем суммирования длин от-

дельных вертикальных линий L_i , т. е. $\frac{\sum_{i=1}^n L_i}{d}$ с учетом площадного веса, то это можно, в некотором смысле, назвать преобразованием площади в длину линии. Формулу площади для отдельного контура можно записать в следующем виде:

$$S = p \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{d}, \quad (\text{II.28})$$

где i — номер линии ($i=1, 2, \dots, n$).

Для группы контуров, отображенных с применением одного веса, суммарную площадь можно представить выражением

$$S' = p \sum_{j=1}^m \frac{\sum_{i=1}^n L_{ij}}{d} = p \frac{1}{d} \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n L_{ij}, \quad (\text{II.29})$$

где j — номер контура ($j=1, 2, \dots, m$).

Суммарную площадь на произвольный участок карты для группы контуров, отображенных с применением всех весов, можно рассчитать по формуле

$$S'' = \frac{1}{d} \left(p_1 \sum_{j=1}^{m_1} \sum_{i=1}^{n_1} L_{j,i} + p_2 \sum_{j=1}^{m_2} \sum_{i=1}^{n_2} L_{j,i} + \dots + p_k \sum_{j=1}^{m_k} \sum_{i=1}^{n_k} L_{j,i} \right). \quad (\text{II.30})$$

Из изложенного следует, что форма контура может быть произвольно изменена, важно соблюдение прямой пропорциональности длины линии с площадью контура. На этом основании мелкий контур, форма которого не изображается, можно представить в виде небольшого отрезка линии. Площадь такого отрезка будет

$$S_{j,k} = p_k \frac{L_j}{d}. \quad (\text{II.31})$$

Такой путь решения задачи позволяет на мелкомасштабных картах показать площадные объекты, по существу, любой величины. Так, например, на карте мелкого масштаба можно в принципе показать объекты по площади меньше 1 га. Такая возможность достигается еще потому, что случаи перекрытия контуров (возникающие при растяжении мелких контуров, представляемых малыми весами, иными словами, при переводе их в более крупные масштабы, чем основной масштаб карты) легко разрешаются благодаря вписыванию линий контуров взаимно друг в друга, т. е. в промежутки между линиями, что возможно только при однонаправленном положении линий растра (см. рис. 12, б). Правда, на возможности вписывания контуров накладываются определенные ограничения. В случаях большой плотности объектов во избежание взаимного наложения большого количества контуров (желательно не более трех) друг на друга возникает необходимость изменения значения весов в сторону их укрупнения.

Измерение площадей на карте, составленной по данной методике, можно легко осуществлять с помощью измерителя и линейки, а также с помощью автоматических считывающих устройств.

При автоматическом определении площади контура с помощью устройства шаг развертки сканера может быть переменным (обычно 0,1, 0,2 или 0,25 мм), в то время как $p = \text{const}$. Учитывая это, формулу площади для отдельного контура S можно представить в следующем виде:

$$S = p \cdot \delta \cdot \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{d'}, \quad (\text{II.32})$$

где $\delta = \frac{d'}{d}$; d' — шаг развертки сканера.

При автоматическом определении величину $\frac{\sum_{i=1}^n L_i}{d'}$ можно принять равной числу импульсов N (так как шаг развертки постоянен в пределах контура), тогда

$$S = p \cdot \delta \cdot N, \quad (\text{II.33})$$

а для случая, когда $d' = d$, получим $S = p \cdot N$.

Точность измерения равновесных контуров, независимо от технических средств измерения, будет заметно различна, так как это различие находится в прямой зависимости от площадного веса, принятого для того или иного контура. Совершенно очевидно, что точнее всего будут измеряться контуры, площадной вес которых минимальный, и, наоборот, самые грубые измерения площади контуров с крупным весом (т. е. тех, которые изображаются в масштабе карты). С целью повышения точности отображения и большей наглядности рисунка для площадных объектов, изображающихся в масштабе карты, можно давать линии границы контура (см. рис. 12, б). Тогда при автоматическом считывании значение площади такого объекта может определяться также и по линии его границы так, как это описано в гл. VII, 25.

При этом необходимо, чтобы граничная линия контура имела достаточное отличие по цвету, обеспечивающее его выделение устройством.

Мультимасштабный способ отображения кратеров небесных тел

Рельеф небесных тел, таких как Луна, Марс и др., отличается от земного наличием большого количества кратеров. Кратеры распределены неравномерно по поверхности. Встречаются районы, сплошь покрытые кратерами, например, на Луне наибольшая концентрация их на южных материках и ее обратной стороне.

Кратеры относятся к основным элементам содержания топографических карт, поэтому картографированию их следует уделять большое внимание, особенно точности и детальности их отображения. Мультимасштабный способ как нельзя лучше удовлетворяет этому условию.

Основываясь на том факте, что кратеры почти, как правило, имеют форму окружности, можно показывать каждый кратер только одной линией по длине, соответствующей его диаметру (рис. 13, а).

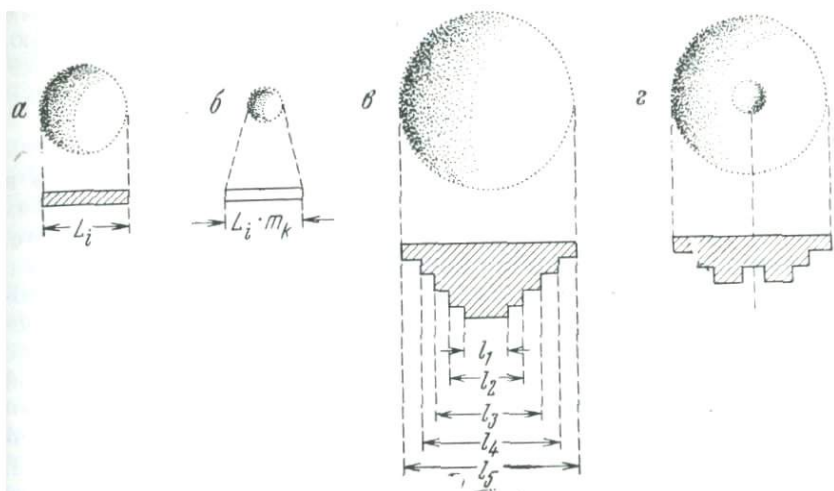


Рис. 13

Для отображения неизображающихся кратеров вводятся различные масштабные коэффициенты m_1, m_2, \dots, m_h , изменяющие длину диаметра малых кратеров в большую сторону (рис. 13, б). В этом случае площадь кратера можно записать в следующем виде:

$$S_i = \frac{\pi}{m_k^2} \left(\frac{L_i}{2} \right)^2, \quad (\text{II.34})$$

где L_i — диаметр кратера.

Внешнее отличие обозначений кратеров разного веса может быть передано изменениями по цвету или по толщине линий.

Для отображения характеристики дна и глубины кратера целесообразно дать сечение по его профилю с постоянным шагом Δh , что особенно желательно для крупных кратеров (рис. 13, в, г).

Такое обозначение кратеров позволяет определить не только его площадь, но и объем котловины (выноса грунта) V_j по формуле

$$V_j = \sum_{j=1}^n \frac{\Delta h}{2m_k^2} \left[\pi \left(\frac{l_1}{2} \right)^2 + 2\pi \left(\frac{l_2}{2} \right)^2 + \dots + 2\pi \left(\frac{l_{n-1}}{2} \right)^2 + \pi \left(\frac{l_n}{2} \right)^2 \right], \quad (\text{II.35})$$

где j — номер сечения ($j=1, 2, 3, \dots, n$).

Знаки целесообразно наносить на слабый фотографический фон или отмывку.

По такой методике отображения представляется возможным показать кратеры с очень высокой точностью и детальностью, включая кратеры, не изображающиеся в масштабе карты.

12. ОТОБРАЖЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЛИНЕЙНЫХ (ПРОТЯЖЕННЫХ) ОБЪЕКТОВ

Методика отображения линейных объектов нуждается в дальнейшей разработке с целью повышения метрических свойств, точности и достоверности их представления на карте. Многие линейные объекты, например, мелкие и средние реки, овраги, геологические разломы, трещины и пр., не изображающиеся по своей ширине в масштабе карты, показываются немасштабными условными знаками. Немасштабное отображение линейных объектов ограничивает возможности количественной оценки информации. Такая форма отображения не удовлетворяет многих потребителей карт, в особенности тех, кто использует картографическую информацию для научных исследований.

Количественное значение объекта на карте представим как функцию от двух переменных — площади знака S и яркости B или оптической плотности окрашенной поверхности знака, $N = f(S \cdot B)$ при условии, что изображение одноцветное. С возрастанием количественного значения объекта яркость знака убывает, т. е. при этом увеличивается оптическая плотность изображения (на люминесцирующем изображении имеет место обратная зависимость). Яркость неокрашенной поверхности бумаги является максимальной, обозначим ее через B_0 . Количественное значение объекта N при плотности B_j представим формулой

$$N_{ij} = S_i \frac{B_j}{B_0}. \quad (\text{П.36})$$

Этот принцип применим для любого площадного знака.

При отображении, например, речной сети за количественное значение объекта может быть принята площадь водной поверхности, расход воды, объем водных масс, а при отображении овражной сети, геологических разломов, трещин — площадь их распространения, глубина и пр. Методику рассмотрим на примере отображения расхода воды в реках и площади водной поверхности [54, 62].

Отображение площади линейных объектов (на примере отображения площади водной поверхности речной сети)

Для того чтобы можно было автоматически и визуально получать со средне- и мелкомасштабной карты достоверную информацию о площади линейного объекта, необходимо такое преобразование, которое бы сохраняло не только данный параметр, но и его геометрическое подобие.

Этот способ рассмотрим применительно к люминесцирующему изображению, хотя методика при этом по существу применима и для обычного изображения.

Следует обратить внимание на то, что при считывании люминесцирующего изображения фотоэлектронным устройством отношение сигнала к шуму больше, чем при считывании обычного изображения, а следовательно, выше надежность и точность получаемых результатов.

Допустим, что все русло изображения реки исходного крупномасштабного материала разбито по поперечнику на дискретные площадки с постоянным шагом Δl вдоль русла реки. Ввиду малости шага дискретизации можно записать, что площадка, ограниченная шириной изображения реки C_i (в масштабе карты) в данной точке и шагом дискретизации Δl , есть их произведение $s_i = \Delta l \cdot C_i$. Тогда действительная площадь всего заданного участка реки есть произведение суммы этих площадок на квадрат знаменателя масштаба

$$S = \sum_{i=1}^n \Delta l \cdot C_i \cdot M^2 = \sum_{i=1}^n s_i \cdot M^2. \quad (\text{II.37})$$

Для того чтобы передать эти параметры на карте более мелкого масштаба (включая реки, не изображающиеся в масштабе составляемой карты), введем коэффициенты относительной яркости таким образом, чтобы самый высокий уровень яркости изображения приходился на крупные реки, т. е. изображающиеся в масштабе карты. Этот уровень яркости возьмем за основной и обозначим через B_1 , а более мелкие реки, не изображающиеся в масштабе карты, разобьем на градации по мере уменьшения их ширины и обозначим их уровни яркости соответственно B_2, B_3, \dots, B_m . В результате получим шкалу, содержащую m градаций:

$$\left. \begin{array}{l} 1 - (C_1, C_2, C_3, \dots, C_n) K_1^{(B)} \\ 2 - (C_{n+1}, C_{n+2}, C_{n+3}, \dots, C_{2n}) K_2^{(B)} \\ 3 - (C_{2n+1}, C_{2n+2}, C_{2n+3}, \dots, C_{3n}) K_3^{(B)} \\ \dots \\ m - (C_{mn+1}, C_{mn+2}, C_{mn+3}, \dots, C_{(m+1)n}) K_m^{(B)} \end{array} \right\}, \quad (\text{II.38})$$

где $K_j^{(B)} = \frac{B_1}{B_j}$ — коэффициент относительной яркости j -ой градации. По этим формулам можно осуществить преобразование рек по их ширине по существу в многомасштабное изображение, так как произведение переменного коэффициента $K_j^{(B)}$ на значение ширины изображения реки $C_{i,j}$ изменяет масштаб изображения рек на составляемой карте в соответствии с принятыми градациями шкалы. Длина всех рек без исключения дается в масштабе карты.

В первой градации коэффициент относительной яркости равен единице, так как значения ширины русел рек, которые попадают в эту градацию, отображаются в масштабе карты. Для остальных изображений рек по мере перехода к градациям более мелких рек масштаб дается крупнее. Самый крупный масштаб по ширине изображения реки достигается при коэффициенте $K_m^{(B)}$. При составлении карт нет необходимости рассчитывать ширину реки для каждого дискретного участка. Достаточно определения этой величины в точках колебания по ширине реки, а затем расчетные точки соединить линиями по форме реки. Поперечники строятся перпендикулярно и симметрично по отношению к осевой линии реки.

При машинном интегральном способе считывания такого изображения рек регистрируемый устройством интегральный световой поток практически всегда будет находиться в соответствии с площадью реки, независимо от того, какая часть реки или какое количество рек будет попадать в поле зрения объектива датчика, и независимо от величины самого поля зрения (разумеется, если яркости свечения изображения рек на карте подобраны точно в соответствии с градациями).

Для определения площади интегральным способом необходимо первоначально определить цену деления регистрирующего прибора по формуле

$$\delta = \frac{S_{\text{изв}}}{m_p}, \quad (\text{II.39})$$

где m_p — количество наименьших делений регистрирующего прибора; $S_{\text{изв}}$ — заранее известная площадь, рассчитанная из геометрической фигуры, имеющей яркость уровня B_1 (в масштабе карты).

Измеряемая площадь определяется по формуле

$$S = m_p \delta.$$

Когда ставится задача создания карты с ориентацией только на дифференцированный способ, то задача создания мультимасштабного изображения линейных объектов существенно упрощается, так как отпадает необходимость строгого соблюдения яркостей изображения в соответствии с принятыми градациями.

В дифференцированном способе коэффициенты относительной яркости могут быть заменены на масштабные коэффициенты $K_g^{(M)}$ с определенной свободой в выборе их значений. В этом способе важно, чтобы изображения, относящиеся к различным градациям, имели достаточно четкое различие по яркости, обеспечивающее их надежную селекцию по амплитуде видеосигнала при считывании специализированным устройством или универсальным устройством совместно с ЭВМ по кодам квантования уровней яркости (см. гл. VIII, 28).

Аналитически площадь любого отдельного участка реки или

группы рек, изображенных на карте с одним коэффициентом яркости (или коэффициентом масштабности $K_g^{(M)}$), можно определить по формуле

$$S = \frac{1}{K_g^{(B)}} \sum_{i=1}^n C_i \Delta l \cdot M^2, \quad (\text{II.40})$$

где g — номер ступени градации ($g=1, 2, \dots, m$), а при попадании на измеряемый участок изображений рек со всеми принятыми коэффициентами масштабности общую площадь можно представить следующим выражением:

$$S = M^2 \Delta l \left(\frac{1}{K_1^{(B)}} \sum_{i=1}^{n_1} C_i + \frac{1}{K_2^{(B)}} \sum_{i=1}^{n_2} C_i + \dots + \frac{1}{K_m^{(B)}} \sum_{i=1}^{n_m} C_i \right). \quad (\text{II.41})$$

Отображение динамических характеристик линейных объектов (на примере расхода воды в реках)

Для отображения расхода воды в реках используется принцип дискретизации. За дискретную величину примем расход воды в любой точке реки с параметрами по ширине реки C_i , глубине h_i и скорости течения в секунду V_i . Эти параметры могут быть взяты с исходного крупномасштабного материала, а также из различных справочников и других источников.

Объем расхода воды в 1 с для некоторого участка реки можно представить известной формулой

$$Q = \iint_D V_i ds, \quad (\text{II.42})$$

где D — сечение реки.

Неравномерность распределения расхода воды по сечению D учесть для каждого конкретного участка практически невозможно, поэтому примем $V_i = \text{const}$, тогда

$$Q = V_i \iint_D ds = V_i \int_0^{C_i} h_i(x) dx. \quad (\text{II.43})$$

Для того чтобы перейти к рабочей формуле, необходимо для поперечного профиля русла реки подобрать такую математическую кривую, которая бы наиболее близко аппроксимировала профиль русла. Данные о поперечном профиле русла реки на топографической карте отсутствуют, поэтому необходим поиск универсальной аппроксимирующей кривой, которую можно получить из многократных анализов и расчетов профилей различных рек. Из результатов гидрологических исследований известно, что на спрямленных участках рек профиль русла имеет

наиболее строгую геометрическую форму, близкую к полуэллипсу или параболе высших порядков (преимущественно от шестой до двенадцатой степени). Следующим этапом является поиск оптимальной формы отображения, обеспечивающей передачу не только расхода воды, но и характера извилистости реки.

Учитывая, что с увеличением ширины изображения реки на карте пропорционально увеличивается и площадь этого изображения, примем ширину реки за одну из информационных характеристик расхода воды. Масштабность по ширине реки будет определяться весом q , представляющим собой произвольно выбранный элементарный объем расхода воды в секунду на единицу длины по ширине изображения реки S_i (например, 1,0 мм соответствует 10 м^3 в секунду). Вторым параметром, характеризующим расход воды, будет яркость (чем темнее тон, тем больше расход). Для того чтобы изображение и мелких, и крупных рек имело достаточно хорошую читаемость, необходимо установить масштабность по ширине реки в соответствии с грациями яркости. Введем коэффициент контрастности $K_j = \frac{B_j}{B_0}$, где

B_0 — яркость подложки карты; B_j — яркость изображения выделенной группы рек.

При составлении карты первоначально устанавливается шкала градаций яркости. Как показал опыт, достаточно трех-четырех градаций. Оптимальные коэффициенты контрастности рассчитываются по экстремальным значениям расхода воды в самых мелких и самых крупных реках с учетом веса q , что в сущности выражает смысл масштабного коэффициента, представляющего собой отношение коэффициента контрастности к весу $\frac{K_j}{q}$. По рассчитанной шкале градаций яркостей $B_1, B_2, \dots, B_j, \dots, B_n$ для i -го сечения на спрямленном участке реки между притоками рассчитывается своя условная ширина изображения реки по нижеследующим формулам:

$$\left. \begin{aligned} S_i^{(B_1)} &= \frac{K_1}{q} Q_i g_1, & S_i^{(B_2)} &= \frac{K_2}{q} Q_i \cdot g_2, & \dots, & S_i^{(B_j)} &= \\ & & &= \frac{K_j}{q} Q_i \cdot g_j & & & \\ S_i^{(B_n)} &= \frac{K_n}{q} \cdot Q_i \cdot g_n & & & & & \end{aligned} \right\}, \quad (\text{II.44})$$

где $i=1, 2, 3, \dots, m$; $j=1, 2, 3, \dots, n$; g_i — коэффициент генерализации.

ГЛАВА III

СКРЫТОЕ КОДИРОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА КАРТАХ

Высокие достоинства некоторых традиционных способов отображения информации, с точки зрения их метрических свойств и точности передачи (например, способ изолиний), предъявляют требования поиска таких путей решения проблемы автоматического чтения карт, которые бы в основе сохраняли традиционную форму изображения и при этом обеспечивали возможность несложной процедуры его машинного чтения и обработки.

Наиболее целесообразный путь реализации этих требований состоит в построении изображений со скрытым кодом, предназначенным для машинного чтения. При этом, как мы убедимся в последующем, скрытое кодирование изображений на карте открывает новые возможности в плане отображения информации.

В данной главе предлагаются способы скрытого кодирования изображения, позволяющие существенно упростить процедуру их машинного чтения с сохранением внешне традиционной формы представления информации [44, 47, 50, 51 и др.].

Основная идея скрытого кодирования изображения на карте состоит в таком построении изображения, при котором карта внешне сохраняет прежний привычный вид и вместе с тем несет в себе часть скрытой информации, предназначенной для чтения машиной.

Можно назвать два наиболее перспективных способа скрытого кодирования изображений:

- 1) оптическое кодирование на основе применения люминофоров;
- 2) магнитное кодирование на основе применения ферромагнитных материалов.

Идея построения скрытого оптического кода на карте на основе применения люминофоров к настоящему времени получила конкретные технические реализации и применение в области автоматизации научных исследований.

Заметим, что за последнее время в США и других странах появились сообщения о применении скрытого оптического кодирования на основе люминесценции * правда, главным образом в области кибернетики (приоритет автора на изобретения относится к более раннему времени [44], [47]).

Данная глава целиком посвящена вопросам использования свойств люминесценции для оптического кодирования изображения применительно к машинному и визуальному чтению кар-

* Пат. США, кл. 250—71, R, № 3621250, заявл. 22.05.70, опублик. 16.11.71.

тографической информации. В этой главе рассматриваются способы оптического кодирования наиболее сложной информации, трудно поддающейся чтению машиной, а именно — трехмерной информации, представляемой в виде изолиний и стереоскопических моделей, а также линейной информации, представляемой в виде различных линейных построений. Для построения таких изображений используются специально разработанные краски с люминесцентными наполнителями и в отдельных случаях, специально изготовленные сорта бумаги.

Второй способ, основанный на использовании ферромагнитных материалов, в данной главе не рассматривается, так как экспериментов для картографических целей не производилось, хотя он уже получил практическое применение в других областях технической кибернетики. Впервые он получил применение для автоматического чтения букв и цифр, отпечатанных ферромагнитной краской шрифтом «Бюль». Для считывания изображений, нанесенных ферромагнитной краской, используется магнитная головка. Очевидно, что этот способ может быть использован для построения кодированных изображений на картах.

13. АНАЛИЗ СВОЙСТВ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К СКРЫТОМУ ОПТИЧЕСКОМУ КОДИРОВАНИЮ ИНФОРМАЦИИ НА КАРТЕ

Возможности использования свойств люминесценции для скрытого оптического кодирования картографической информации

Использование явления люминесценции на картах имеет свою особую историю развития, начавшуюся еще со времен второй мировой войны. Тогда создавались, в основном, аэронавигационные люминесцирующие карты. Позднее появился ряд работ о применении люминесценции в картоиздании [37 и др.]. Люминесценция начинает постепенно завоевывать свое признание в картографии для решения различных картографических задач.

В данном параграфе ставится задача рассмотреть возможности использования свойств люминесценции на картах для скрытого кодирования картографической информации и ее машинного считывания.

Одной из сложнейших задач в решении проблемы автоматизации считывания информации с карт, как известно, является распознавание объектов на карте, особенно по их качественным характеристикам. Использование люминесценции на картах позволяет значительно упростить решение поставленной задачи. Основная роль люминесценции сводится к построению специальных люминесцирующих изображений на карте, упрощающих логические процедуры и технические условия избирательного

считывания картографической информации машиной. Процесс создания люминесцирующих карт состоит не в простой замене (при печати) офсетной краски люминесцентной краской, как это делается, например, для аэронавигационных карт (где ставится задача визуального чтения карты в затемненных условиях при невидимом ультрафиолетовом источнике возбуждения), а в построении на ней специального кодового люминесцирующего изображения.

Рассмотрим те основные свойства люминесценции, которые представляют особый интерес с точки зрения возможности использования их для приспособления картографической информации к автоматическому считыванию.

Благодаря тому, что явление люминесценции проявляется не во всех веществах, создается возможность при считывании карты надежно расчленить специальную информацию карты от вспомогательных элементов. Это значит, что элементы содержания карты, не подлежащие машинному считыванию, например географическая, математическая основа и др., можно печатать нелюминесцирующей краской, а специальные элементы содержания карты, относящиеся к машинному считыванию, — люминесцирующей. Привязку считываемой специальной информации можно осуществлять визуально или автоматически координировать в момент считывания. Желательно (в некоторых способах считывания) устранить люминесценцию бумаги, которая наблюдается, как правило, в области коротковолнового излучения, или использовать специальную нелюминесцирующую бумагу. На карте, созданной по такой технологии, нетрудно выделить люминесцирующее изображение (под ультрафиолетовыми лучами) и произвести по нему необходимые измерения в изоляции от географической основы и других элементов, не предназначенных к машинному считыванию и обработке, а при обычном освещении читать визуально во взаимосвязи со всеми элементами (если информация, предназначенная для машинного считывания, не является скрытой). Это свойство люминесценции следует отнести к одному из важнейших в применении ее на картах.

Второе очень важное свойство люминесценции в применении на картах характеризуется законом Стокса — Ломмеля. По закону Стокса — Ломмеля спектр излучения в целом и его максимум сдвинуты в сторону длинных волн по отношению к спектру поглощения. Благодаря этому свойству люминесценции избирательное считывание картографической информации с изображений качественно различных явлений можно производить дифференцированным возбуждением, т. е. источниками излучения, имеющими более короткие длины волн, чем флуоресценция измеряемых объектов, а свечение регистрировать в датчиках с фильтрами, пропускающими люминесценцию в максимуме более длинных волн. Свойство люминесценции трансформировать свет, т. е. преобразовывать излучение одной длины волны в из-

лучение другой длины, является одной из ценнейших характеристик люминесценции в применении на картах для автоматического считывания информации.

Следующим важным свойством люминесценции является закон независимости спектра излучения от длины волны возбуждающего света. Это свойство люминесценции значительно упрощает операцию измерения по люминесцентной карте благодаря возможности пользоваться широкими спектральными участками.

Важным свойством люминесценции, представляющим особый интерес в решении данной проблемы, является длительность послесвечения. Длительность послесвечения у разных веществ варьирует в очень широких пределах. Известны вещества, у которых послесвечение длится всего лишь миллиардные доли секунды, и вещества с длительностью послесвечения, достигающего нескольких часов и даже суток. Используя различную длительность послесвечения люминесценции на карте, можно посредством специальных устройств увеличить расчленение явлений по их качественным признакам. Средним и длительным послесвечением обладают в основном кристаллофосфоры. Офсетного способа печати с применением кристаллофосфоров пока еще не разработано. Использование люминесценции с различной длительностью послесвечения для считывания картографической информации будет иметь ограниченное применение, т. е. пока возможно только в тех случаях, где изображение наносится вручную или трафаретными способами печати.

Для создания люминесцирующих карт используются в основном люминесцентные офсетные краски, созданные на основе офсетных красок в смеси с органическими люминофорами (люминорами). Технология офсетной печати этими красками освоена [47, 48].

Сравнительный анализ возможностей машинной селекции изображений, выполненных обычными красками и красками с люминесцирующим наполнителем

Для большей убедительности в целесообразности использования люминесценции сделаем сравнительный анализ возможностей расчленения качественно различной информации машинной по люминесцирующей и по обычной картам. Явление люминесценции существенно отличается от отраженного и рассеянного света. Независимо от направления возбуждающего света возникший свет люминесценции распространяется равномерно во все стороны, что является существенным положительным фактором при считывании информации с карт машинными средствами. В отличие от люминесценции отраженный свет от поверхности карты распространяется неравномерно, вследствие неполного диффузного отражения бумагой (диффузно отражается порядка 60—70%).

Отраженный световой поток от каждой окрашенной поверхности при облучении ее равноэнергетическим по спектру источником представляет собой по существу сплошной спектр, включая инфракрасную и ультрафиолетовую области (часто с несколькими максимумами), в то время как световой поток $F_{\text{изл}}$ люминесценции имеет сравнительно ограниченную область спектра излучения (обычно с одним максимумом)

$$F_{\text{изл}} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} I(\lambda) d\lambda, \quad (\text{III.1})$$

где λ_1 и λ_2 — границы спектра люминесценции.

Выгодно отличается люминесценция и в распределении максимума энергии излучения по спектру. Следует обратить внимание на то, что участки чистой бумаги (люминесценция которой потушена или отсутствует) практически не дают свечения, т. е. выглядят как черные поверхности, представляясь обратной картиной тому, что видно в отраженном свете на обычной карте. Правда, при возбуждении ультрафиолетовым излучением может иметь место случай, когда лучи возбуждающего света накладываются на свет люминесценции, но это легко устраняется специальным фильтром.

Многие люмогены сами по себе при белом свете выглядят в виде белого порошка, благодаря чему представляется возможным создавать любые ароматические краски — серые, белые, черные, коричневые (рис. 14).

Следует заметить, что возможно создание таких условий, когда цвет свечения содержащегося в ней люминесцирующего вещества находится не в соответствии по своим цветовым характеристикам, например, коричневая краска может иметь при возбуждении желтый или красный спектр излучения, фиолетовая — голубой или синий и т. д. Эта технологическая особенность в применении люминесценции расширяет возможность расчленения качественной информации машиной.

Весьма существенное преимущество люминесценции перед отраженным светом состоит в возможности достижения более высоких интервалов яркости между выделяемыми при считывании и невыделяемыми элементами изображения.

Следует обратить внимание на то, что с применением люминесценции представляется возможным использовать невидимую область спектра (инфракрасную), что является еще одним важ-

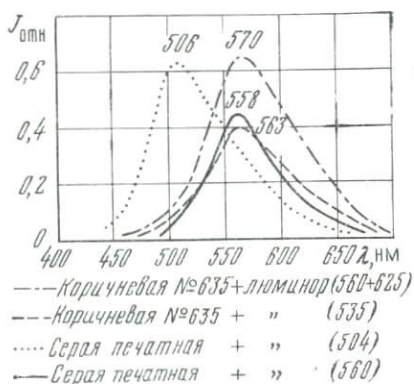


Рис. 14

ным преимуществом люминесценции перед отраженным светом.

Сравнение составов световых потоков, отраженных с обычной карты со световыми потоками, излучаемыми люминесцирующей картой, дает ясную картину существующих между ними принципиальных различий. Эти различия убедительно показывают бесспорное преимущество люминесценции, открывающей широкие возможности в применении ее на картах для решения проблемы автоматического считывания как количественной, так и качественной информации.

Для разработки способов автоматического чтения люминесцирующих карт очень важно знать характер изменения физических свойств красок, вызываемых дефектами и вообще особенностями офсетной печати.

Были проведены исследования наиболее важных физических свойств красок с точки зрения применения их на картах для визуального и машинного считывания.

Ниже приводятся выводы, явившиеся результатом проведенных исследований.

1. При печатании люминесцентными красками офсетным способом практически обеспечивается равномерная яркость свечения по полю фонового изображения.

2. Различия в толщинах слоев краски не оказывают сколько-нибудь существенного влияния на спектральную характеристику излучения люминесценции.

3. Цвет подложки или фона оказывает заметное влияние на яркость излучения краски, но, независимо от оптической плотности фона, уровень яркости краски обеспечивает возможность визуального восприятия изображения и считывания машинной

При проектировании карт все же рекомендуется по возможности избегать перекрытия люминесцирующих элементов изображения с нелюминесцирующими.

4. Цвет пигмента офсетной краски оказывает фильтрующее воздействие на спектр люмогена, благодаря чему возникают условия создания люминесцентных красок со спектрами излучения более узкими, нежели спектр люмогена.

5. Смесь люмогена с офсетной краской, являющихся между собой дополнительными по цвету, как правило, приводит к значительному ослаблению яркости излучения.

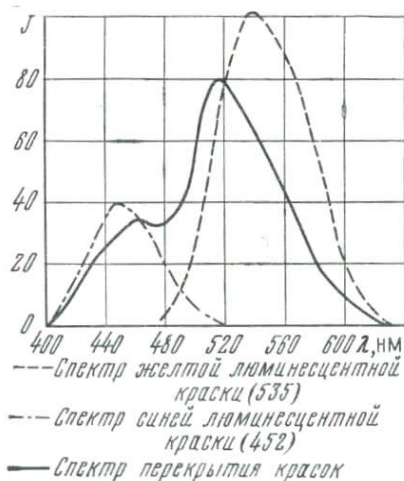


Рис. 15

6. Перекрывающиеся люминесцентные краски имеют закономерность, близкую к аддитивному смешению (рис. 15).

7. При печатании на нелюминесцирующей бумаге в некоторых красках наблюдается падение яркости (свечения), по сравнению с яркостью на обычной бумаге, но это падение практически несущественно.

14. СПОСОБЫ СКРЫТОГО ОПТИЧЕСКОГО КОДИРОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Способ скрытого оптического кодирования изолиний

Распознавание информации, представленной изолиниями, с точки зрения последующего чтения ее ЭВМ, связано с большими трудностями. Автоматическое распознавание изолиний в принципе возможно, и в этом направлении уже имеются некоторые разработки, но оно связано с очень сложной программной реализацией и требует больших затрат машинного времени. При этом надежность распознавания может обеспечиваться только при отсутствии шумового влияния посторонних изображений, т. е. других знаков карты. В этой связи возникла необходимость поиска такой формы представления изолиний на картах, при которой оказалось бы возможным оперативное и надежное чтение их при сохранении внешне привычного традиционного изображения.

Восстановить значение изолиний можно разными путями и прежде всего по бергштриху, правда, при условии двумерного считывания и анализа изображения, что с помощью сканирующих устройств и ЭВМ является довольно сложной и длительной процедурой. При одномерном считывании (по одной строке) в машину не поступает по существу никакой информации, по которой можно было бы судить о координате z или знаке приращения Δz , кроме плоских координат x , y . Одномерное определение значений изолиний возможно только при специальном маркировании изображения. Чтобы по одной строке развертки можно было в каждой точке ее пересечения со строкой сканирования, т. е. точке пересечения развертывающего элемента с изолинией, определять значение z , достаточно внести в изображение такие признаки (специальный код), по которым машина могла бы определить только знак приращения Δz .

Когда этот знак известен, определение координаты z всех точек пересечения изолиний со строкой развертки сводится к алгебраическому суммированию приращений

$$z_1 = z_0 \pm \Delta z; \quad z_2 = z_1 \pm \Delta z; \quad . . . ; \quad z_i = z_{i-1} \pm \Delta z.$$

Разработаны два способа кодирования, обеспечивающие возможность автоматического распознавания изолиний в одномерном пространстве при сохранении внешне привычного

традиционного изображения (за исключением некоторых мало-существенных изменений): одноцветное кодирование посредством изменения только яркости изображения; многоцветное скрытое оптическое кодирование [66].

При первом способе исключается наличие посторонних изображений, кроме собственно изолиний, второй — допускает их. В основе способов лежит общая идея — построение кодовой комбинации по принципу определенного чередования признаков или свойств, вносимых в изображение изолиний, которые затем при считывании декодируются (с целью выявления знака приращения) по мере перехода развертывающего элемента считывающей головки от одной изолинии к другой. Оптимальным является трехпризнаковое кодирование. Для более сложных карт, например топографических, может применяться четырехпризнаковое кодирование.

На рис. 16 обозначены: 1, 2, 3 — соответственно первый, второй и третий кодирующие признаки (в дальнейшем будем их называть сигналами). Примем, что во всех случаях чередования сигналов $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 1$ имеет место положительный знак приращения, т. е. в этом случае, если рассматривать по линии профиля, происходит как бы подъем вверх, а при чередовании сигналов $1 \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow 1$ — отрицатель-

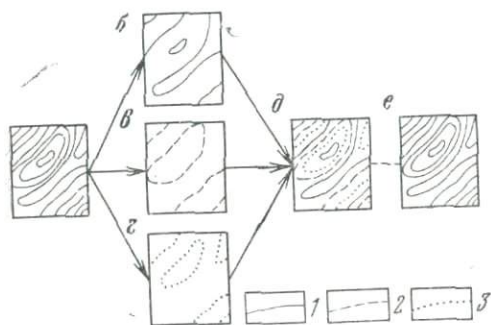


Рис. 16

ный. При использовании первого способа кодирующие сигналы характеризуются градациями яркости цвета изолиний, например, сигнал 1 может быть представлен изолиниями светло-серого цвета, сигнал 2 — изолиниями среднего серого цвета и сигнал 3 — темно-серого цвета (вместо серого может быть принят любой другой цвет). При втором способе кодирующими сигналами являются многоспектральные люминесцирующие наполнители, которые вводятся в состав краски одного определенного цвета, например, серого или коричневого [49]. Сигнал 1 может быть представлен изолиниями, имеющими при возбуждении люминесценции (целесообразно ультрафиолетовым источником) зеленый спектр излучения, сигнал 2 — изолиниями, имеющими красный спектр, и сигнал 3 — синий. При обычном освещении наличие в изображении изолиний люминесцирующего наполнителя не обнаруживается.

Рассмотрим более подробно второй способ кодирования. Как отмечалось выше, он допускает наличие любых других элементов содержания карты, которые не оказывают заметного влия-

ния на надежность распознавания. Это возможно потому, что все элементы карты, исключая изолинии, наносятся (печатаются) нелюминесцирующей краской. Наблюдающиеся изменения в яркости свечения изолиний (в местах их перекрытий с нелюминесцирующими элементами изображения) сказываются на величине амплитуды сигнала, регистрируемого считывающим устройством. Но благодаря тому, что люминесценция красок имеет достаточно большой спектральный разнос (спектры практически не перекрываются), достигается чистая фильтрация сигнала, без шумов, с помощью одних оптических фильтров. Это позволяет свободно выбирать нужный порог дискриминации сигнала, обеспечивающий срабатывание системы с учетом его минимальных амплитуд. Как показал опыт, селекция изолиний и их оптическая фильтрация по сигналам осуществляется достаточно надежно.

Карта с таким скрытым оптическим кодом должна издаваться с учетом следующих особенностей. Исходный оригинал карты изолиний (см. рис. 16, а) расчленяется на три издательских оригинала (см. рис. 16, б, в, г) таким образом, чтобы при совмещении их в процессе печатания люминесцентными красками (рис. 16, д) обеспечивалась определенная последовательность чередования световых сигналов во время считывания карты специальным устройством (при создании карты по данным полевых съемок расчлененные оригиналы целесообразно изготавливать сразу). Такую последовательность сигналов могут обеспечить изолинии, отпечатанные тремя красками, имеющими при возбуждении различные спектры излучения. Максимумы спектров каждой краски целесообразно задавать с достаточно большим спектральным разносом, например, для тройной последовательности сигналов в синей, зеленой и красной областях спектра. Если просканировать карту изолиний с таким кодом, как показано на рис. 16, е, то положительные приращения будут возникать при чередовании сигналов синий — красный — зеленый — синий, а отрицательные — синий — зеленый — красный — синий.

Люминесцентные краски состояются на основе ахроматических офсетных красок и органических люминофоров, желательно без собственной пигментации, т. е. бесцветных или белых. Для таких красок можно рекомендовать следующие люминофоры: желтый (560), зеленый (517), сине-фиолетовый (452), красный (640), зеленый (505) и некоторые другие. При печатании карт необходимо первоначально нанести обычной офсетной краской все прочие элементы содержания карты (например, дороги, реки, надписи и др.), а затем люминесцентной — изолинии.

В лабораториях МИИГАиК и ЦНИИГАиК произведена опытная печать карт изолиний со скрытым оптическим кодом (технология такого типа печати будет внедряться в производство).

Заметим, что все полученные краски при обычном освещении имеют одинаковый серый или коричневый цвет. Лишь одна из серых красок несколько отличается из-за собственной пигментации входящего в нее люминора (640).

Для сложных изображений можно использовать кодовую комбинацию с четырьмя-пятью красками с разнесенными спектральными характеристиками. Такая необходимость может возникнуть при показе на топографической карте полугоризонталей.

Способ получения многоцветных карт со скрытым стереоскопическим изображением

В основу предлагаемого способа положен принцип цветной сепарации сопряженных изображений стереопары с использованием свойств люминесценции [48, 64]. Этот способ позволяет создать карту, которой можно пользоваться как обычной многоцветной картой, например, топографической, так и стереоскопической при ее ультрафиолетовом облучении. В последнем случае изображение рассматривают через анаглифические очки. Стереоскопическая модель воспринимается зрением при обычном освещении и более четко в затемненных условиях. Такой эффект достигается тем, что оба сопряженных изображения карты наносятся (печатаются) специальными люминесцентными красками. При этом одно из изображений наносится невидимой (при обычном освещении) люминесцентной краской, составленной на основе органического люминофора, люминесцирующего в короткой области спектра (например, люминор синефиолетовый (452)). Другое изображение наносится видимыми люминесцентными красками нескольких цветов (соответственно цветам штриховых элементов карты), составленными на основе одного люминофора со средней областью спектра излучения (например, люминор желто-зеленый (535)), дополнительными по цвету свечения к невидимой люминесцентной краске. Возбуждение люминесценции осуществляется ультрафиолетовыми лучами ($\lambda = 365$ нм). Стереонизображение рассматривают через очки с двумя светофильтрами, максимумы спектрального пропускания которых соответствуют максимумам спектров излучения люминофоров, содержащихся в краске. Построение стереоскопической модели осуществляется по принципу аддитивного метода цветных анаглифов.

Способ печатания таких карт включает следующие операции:

1. Нанесение фоновых нелюминесцирующих видимых элементов изображения карты обычными красками.
2. Нанесение видимого сопряженного штрихового изображения стереограммы в соответствующих этому изображению цветах (с некоторой корректировкой).

3. Нанесение невидимой люминесцентной краской другого сопряженного штрихового изображения.

Для восприятия стереоизображения в виде светлых (светящихся) линий на темном фоне карты печатаются на слаболюминесцирующей картографической бумаге. Для восприятия стереоизображения в виде темных линий на светлом фоне карты печатаются на специальной люминесцентной бумаге белого цвета свечения. Люминесцентная бумага белого цвета свечения получается при обработке обычной бумаги двумя люминорами, которые входят в состав красок, или другими люминорами, очень близкими к ним по спектру, но взаимодополнительными по цвету свечения (например, люминоры синего и желтого свечения). При этом должны соблюдаться следующие важные условия:

1. Для обеспечения хорошей сепарации изображений спектры излучения обоих люминоров не должны иметь больших перекрытий (после обработки бумаги такими люминорами спектр излучения ее должен иметь два четко выделяющихся максимума).

2. По цвету свечения и по концентрации в растворах, приготовляемых для обработки бумаги, люминоры должны быть такими, чтобы при рассматривании бумаги (после обработки) под ультрафиолетовыми лучами фон воспринимался белым как со светофильтрами, так и без них.

3. Количество вводимого в краску люминора должно быть таким, чтобы изображение (нанесенное этой краской) при восприятии через соответствующий светофильтр под ультрафиолетовыми лучами сливалось с фоном (в случае люминесцентной основы изображение синего цвета свечения через синий светофильтр и желтого — через желто-оранжевый; в случае нелюминесцентной или слаболюминесцентной основы изображение синего цвета свечения через желто-оранжевый фильтр и желтого — через синий).

4. При рассматривании невидимого изображения на белой люминесцирующей бумаге через синий фильтр (в нашем примере) необходимо, чтобы оно по яркости свечения было одинаково с фоном, через желто-оранжевый фильтр — четко просматривалось в виде серых линий. При рассматривании видимого изображения должна возникать обратная картина.

При выполнении этих условий может быть достигнут хороший стереоскопический эффект, особенно когда в качестве основы используется люминесцентная бумага белого цвета свечения. В этом случае стереоскопический эффект наблюдается и при дневном освещении.

При изготовлении видимых красок, независимо от их цвета, вводится один и тот же люминор. Заметим, что спектры излучения видимых люминесцентных красок по отношению к спектру люминора несколько сужаются со смещением максимумов в ту

или другую сторону в зависимости от фильтрующего воздействия офсетной краски. Однако это не мешает построению стереоскопической модели при условии, если светофильтр будет полностью подавлять (срезать) всю область спектра излучения люминора, являющегося дополнительным к краске по цвету свечения, что и подтвердилось опытом.

Как упоминалось выше, видимое штриховое изображение подвергается корректировке по цвету, т. е. некоторому изменению цвета отдельных изображений по отношению к общепринятым цветам. Например, для топографических карт все элементы изображения голубого цвета заменяются голубовато-зелеными, а черные — серыми. Это вызвано тем, что вводимый в офсетные краски люминор имеет спектр излучения, иногда сильно расходящийся со спектрами отражения некоторых красок, что ослабляет свечение люминора.

Невидимое изображение карты наносится краской, составленной на основе белил, люминора без собственной пигментации, олифы и смягчительной пасты. В ахроматических составах люминесцентных красок относительное распределение энергии по спектру люминесценции практически не изменяется по сравнению со спектром люминора.

Для машинного чтения таких стереоскопических моделей, т. е. для построения по ним таких же цифровых моделей, как и в предыдущем способе, необходима разработка специального устройства. Сепарация изображения стереограммы в нем может быть произведена теми же светофильтрами, что и для зрительного восприятия.

Способ может найти применение для создания учебных демонстрационных карт и различного рода карт специального назначения (аэронавигационных, космических и др.).

Способ скрытого оптического кодирования информации с использованием свойств длительности послесвечения люминесценции

Использование свойств длительности послесвечения люминесценции для скрытого машинного кодирования информации на картах расширяет возможности поиска информации и повышает надежность селекции изображений как по спектрам свечения, так и по длительности послесвечения. Это, в свою очередь, дает возможность увеличить информационную емкость карт.

Благодаря тому, что длительным послесвечением обладают немногие люминесцирующие вещества (как правило, только кристаллофосфоры), представляется возможность создавать на карте с их помощью дополнительные изображения, которые можно выделять от других люминесцирующих изображений по длительности послесвечения.

Предлагаемый способ состоит в следующем.

Подбираются светосоставы из кристаллофосфоров, обладающие послесвечением, превышающим по длительности свечение органических люминесцирующих веществ. Закон затухания свечения последних выражается известной экспоненциальной зависимостью

$$I = I_0 e^{-\frac{t}{\tau}},$$

где I — интенсивность свечения в момент времени t ; I_0 — интенсивность свечения в момент прекращения возбуждения; τ — средняя длительность возбужденного состояния (время, в течение которого интенсивность свечения уменьшается в e раз). Так как длительность возбужденного состояния у разных органических веществ колеблется в пределах $\tau \sim 10^{-8} \div 10^{-9}$ с, то для светосоставов из кристаллофосфоров она должна превышать 10^{-8} (например, светосостав ФКП-03-1, ФК-101 и др.). На основании светосостава из кристаллофосфоров длительного послесвечения изготавливаются краски (тушь). В качестве связующих веществ могут быть использованы казеин, органические смолы и пр. При этом необходима такая концентрация светосостава в краске, чтобы обеспечивалась необходимая интенсивность свечения I_0 в момент регистрации оптического сигнала фотоэлектронным приемником в интервале времени Δt после прекращения возбуждения. Краской, приготовленной с соблюдением указанных условий, наносят необходимую графическую информацию на карту. Это могут быть любые картографические знаки, код номенклатуры карты для поиска, линия ограничения области считывания на карте сканирующим устройством и пр.

Нанесение изображения может осуществляться вручную или с помощью автоматического графопроектиратора, содержащего несколько пишущих элементов, заряженных этими красками, а также возможно средствами печати (например, шелкотрафаретным способом).

В процессе поиска и считывания информации изображение, нанесенное краской, содержащей светосостав длительного послесвечения, облучают ультрафиолетовыми лучами. Через интервал после прекращения возбуждения люминесценции осуществляют регистрацию сигнала послесвечения фотоэлектронным приемником.

В динамических системах сканирующего типа осветительная система, включающая ультрафиолетовый источник и кварцевый конденсор, формирует световое пятно перед развертывающим элементом (по отношению к направлению сканирования) на расстоянии l , соответствующем временному интервалу Δt постоянной послесвечения определенного люминофора, с учетом скорости развертки.

Для селекции изображений по длительности послесвечения, выполненных красками, содержащими люминофоры с различ-

ной постоянной послесвечения, применяется специальное оптическое приспособление, обеспечивающее изменение расстояния l_i в соответствии с послесвечением того или иного люминесцирующего светосостава. Селекция сигналов различного спектрального излучения осуществляется с помощью оптических фильтров и электронных селекторов. Дальнейшая обработка сигнала идет по известным каналам.

Резюмируя изложенное в данной главе, подчеркнем следующие основные преимущества люминесцирующего изображения карты перед нелюминесцирующим, с точки зрения машинного чтения картографической информации.

1. Увеличивается надежность спознавания условных знаков и точность считывания информации благодаря: а) более высоким интервалам яркости люминесцирующих элементов; б) значительному уменьшению влияния внешних шумов за счет оптического подавления сигналов нелюминесцирующих вспомогательных элементов карты; в) рассеянному (диффузному) излучению люминесценции — независимо от направления возбуждающего излучения.

2. Создаются благоприятные условия увеличения объема информации на картах вследствие увеличения количества селективируемых элементов за счет: а) узкополосности излучения люминесценции по спектру; б) использования невидимой области спектра (инфракрасной); в) использования различной длительности послесвечения люминесценции с применением светосоставов из кристаллофосфоров.

3. Открываются возможности применения новых упрощенных способов чтения картографической информации благодаря построению различных невидимых оптических кодов, создаваемых на основе красок, цвет которых не соответствует спектру люминесценции.

Благодаря перечисленным свойствам люминесценции представилось возможным на основе люминоров (органических люминофоров) разработать люминесцентные краски с различными оптическими свойствами. Использование оптических свойств таких красок позволило разработать способы скрытого кодирования информации и ее автоматического чтения.

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ РАЗРАБОТКИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ КАРТОГРАФИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Разработка автоматизированной картографической системы, реализующей весь комплекс картографических задач, начиная с создания карты и кончая ее использованием, является одной из наиболее важных проблем картографии.

Для обеспечения полной автоматизации процессов картографического отображения и анализа геоинформации необходимо создание такой картографической системы, которая бы осуществляла так называемый «замкнутый цикл», включающий следующие операции: автоматический ввод в ЭВМ исходных (первичных) картографических и цифровых данных; автоматическое построение по этим данным карт на выходе ЭВМ, размножение карт, хранение, поиск и, наконец, машинное считывание и анализ. При этом считывание должно быть избирательным по заданным признакам изображения (т. е. с полным машинным распознаванием знаков).

Достижение предлагаемого уровня автоматизации по «замкнутому циклу» возможно в настоящее время, если исходную информацию, например полевые картографические материалы, представлять в виде, наиболее удобном для ввода в ЭВМ, а построение изображения карты на выходе ЭВМ давать, как уже отмечалось, с учетом разрешающей способности и логических возможностей машин, для обеспечения процедуры последующего машинного чтения и анализа этих карт (такие графические материалы и карты названы нами «нормализованными»).

В данной главе основное внимание уделено созданию универсальной автоматизированной системы.

15. ВЫБОР ТИПА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ КАРТОГРАФИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Автоматизированные картографические системы (АКС) для хранения и поиска информации могут быть подразделены на три типа:

- 1) документальная, основанная на хранении, поиске и обработке картографической информации, представленной в графическом виде;
- 2) цифровая, основанная на хранении цифровых моделей по цифровым данным полевых съемок или картографической цифровой информации крупномасштабных карт;

3) универсальная, сочетающая в себе документальный и цифровой принцип хранения и поиска информации.

В настоящее время как за рубежом, так и у нас основной упор делается на создание АКС, основанных на хранении картографической информации в цифровом виде, т. е. на хранении так называемых *цифровых карт*. Необходимость создания банка цифровых данных в виде цифровых карт (с особым хранением и поиском информации исключительно на машинных носителях) обусловлена тем, что машина пока еще не в состоянии надежно читать традиционную карту, приспособленную лишь для восприятия человеком. Именно это обстоятельство вынуждает прибегать к трудоемким ручным способам преобразования картографической информации в цифровой вид на машинные носители (с помощью считывающих устройств типа Д-Мак), чтобы в последующем машина могла бы свободно считывать и обрабатывать эту информацию с высокой скоростью и надежностью. Вместе с тем, как известно, эта форма хранения не пригодна для ее зрительного восприятия и обработки без обратного преобразования с помощью машины. Очевидно, что такое хранение карт в двух видах (натуральном и цифровом) является довольно дорогостоящим.

Совершенно ясно, что если бы машина могла читать карту, т. е. преобразование в цифровой вид она осуществляла автоматически на уровне полного распознавания знаков, то отпала бы необходимость параллельного хранения карт и в натуральном, и в цифровом видах. Отсюда, естественно, возникает вывод о том, что более целесообразно основные усилия направлять на машинное чтение карт и, следовательно, на создание документальных систем. Эта проблема, как уже отмечалось в гл. I, должна решаться в двух аспектах: 1) приспособление формы карты к машине с учетом ее разрешающей способности и логических возможностей, 2) разработка алгоритмов и программ чтения карты.

Иное дело — создание цифровых систем, основанных на хранении, поиске и обработке цифровых моделей по первичным цифровым данным съемок, например, построение цифровых моделей местности. В будущем в процессе самих съемок создание таких систем весьма целесообразно. В этом случае отпадает необходимость создания цифровых карт для хранения на машинных носителях. Преимущество цифровой модели перед цифровой картой в том, что она несет первичную информацию, являющуюся более точной и достоверной. Цифровая модель может служить основным базовым источником информации для выполнения инженерно-изыскательских работ, исследовательских работ, а также для создания карт различных масштабов и назначения, включая их обновление.

Создание документальных АКС наиболее целесообразно в тех отраслях производства, где первичные съемочные данные

представлены главным образом в картографическом виде (например, данные почвенных, кадастровых, физико-географических и других съемок). В отраслях производства или науки, где первичные съемочные данные представлены в цифровом виде (например, данные геофизических, гидрографических и других съемок), целесообразно создание цифровых систем. Универсальные системы целесообразны там, где первичные данные представлены в цифровом и картографическом виде (например, данные топографических, геолого-геофизических и других съемок).

Одним из наиболее важных звеньев документальной и универсальной систем являются устройства считывания и ввода картографической информации в ЭВМ. В этой связи в данной работе особое внимание уделяется именно считывающим устройствам.

16. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СОЗДАНИИ УНИВЕРСАЛЬНОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОМПЛЕКСНОЙ ОБРАБОТКИ ГЕОИНФОРМАЦИИ

Проведение комплексных исследований по географическим, геологическим и геофизическим данным путем полной автоматизации представляется очень сложной и до сих пор нерешенной проблемой. Сложность заключается в разнообразии форм представления данных для обработки в ЭВМ и в отсутствии единой системы хранения и поиска информации. Каждая отрасль имеет свою форму представления информации и ее хранения. Наибольшее различие в форме представления информации наблюдается между геолого-географическими и геофизическими данными. Географическая и геологическая информация дается преимущественно в графическом виде или словесном описании и лишь небольшой процент данных записывается в цифровом виде на долговременных машинных носителях. Хотя геофизическая информация в основном регистрируется в цифровом виде, тем не менее запись данных осуществляется на самых различных носителях (перфолентах, магнитных лентах, кинолентах и пр.) к различным типам ЭВМ. Все это настолько осложняет подготовку данных для автоматической совместной комплексной обработки, что порой теряется смысл в использовании ЭВМ. Автоматизация ввода данных в ЭВМ для совместной комплексной обработки является сложной проблемой. Не менее сложным является вопрос «совместимости» информации по точности и форме представления в памяти ЭВМ, особенно если учесть графический вид представления данных в географии и геологии (карты, аэро- и космические снимки, графики и пр.) и цифровые данные в геофизике (в виде каталога пунктов, сейсмических профилей и пр.).

Естественно, возникает насущная необходимость поиска универсальной системы обработки такого «конгломерата» данных.

Основными требованиями к универсальной автоматизированной системе (УАС) обработки геоинформации являются:

1. Универсализация и стандартизация технических средств, начиная с устройств ввода и кончая устройствами регистрации результатов обработки.

2. Универсализация и стандартизация носителей цифровой и картографической информации (как первичной, так и вторичной).

3. Единство в принципах хранения и «ключях» поиска информации.

4. Сопоставимость по уровням точности представленных данных в соответствии с масштабами полевых съемок или нормирование информации различных методов по их максимальным значениям.

5. Возможность визуального анализа информации во взаимодействии с ЭВМ.

6. Система должна обладать такой гибкостью, при которой возможен оперативный поиск и автоматическая обработка информации как любых локальных, так и любых региональных территорий, вплоть до глобального охвата.

7. Система должна быть по возможности доступной для широкого круга специалистов (без особых требований к подготовке по вычислительной технике).

8. Единый универсальный алгоритмический язык комплексной обработки данных.

Очевидно, что автоматизированная система должна базироваться на одном типе машин. По-видимому, в наибольшей степени этому требованию будут удовлетворять машины ЕС. Но машины ЕС не обладают всем тем необходимым комплексом периферийных (внешних) устройств и соответствующим математическим обеспечением, которые требуются для ввода и обработки столь разнообразных данных.

Из периферийных внешних устройств универсальных ЭВМ особое место занимают устройства ввода первичной (исходной) информации. Как уже отмечалось, устройства ввода должны отличаться универсальностью. Под этим следует понимать возможность ввода в ЭВМ одним и тем же устройством первичных документов, различных по форме и содержанию. В этом смысле наибольшими возможностями обладают оптические устройства сканирующего типа. Однако тип устройства ввода в значительной степени определяется видом носителя информации, а он, в свою очередь, — видом исходной информации.

В настоящее время вряд ли кто позволит себе оспаривать, что из всех известных видов представления геоинформации наиболее доступной формой для человека является картографическая. Картографическая форма представления географической и геологической информации не только нагляднее и доступнее для ее визуального анализа по сравнению с другими формами

представления информации, но и проще по принципам отображения в процессе полевой съемки. Это связано с тем, что географические и геологические полевые съемки ведутся на основе картографических материалов (топокарт, геологических карт более мелких масштабов) и аэрофотоснимков.

При представлении географической и геологической информации сразу в цифровом виде возникают трудности, связанные с чрезвычайной сложностью содержания информации и методики съемки. Что касается геофизической исходной информации, то она в своем большинстве регистрируется в цифровом виде на машинные носители сразу в полевых условиях при съемке [27, 36]. Исключение составляет гравиметрическая полевая съемка, когда данные записываются вручную в полевые журналы. Здесь наиболее удобным и оптимальным носителем информации для хранения и поиска является микрофильм [41, 2].

В настоящее время автоматизированная система «АССОХ — Гравиметрия» на основе микрофильмирования внедряется в производство.

Разрешение проблемы хранения, поиска и ввода в ЭВМ исходной полевой геолого-географической информации является более сложной, но в то же самое время исключительно важной. Здесь, очевидно, было бы целесообразно использовать такую же методику, как в системе «АССОХ — Гравиметрия». Действительно, разработка стандартных бланков-журналов (приспособленных для машинного чтения), в которых можно было бы в полевых условиях отмечать все признаки и сведения, например, о привязке места наблюдения, о породах, их структуре, текстуре, об особенностях внешнего вида, а также об условиях обнажения, экспозиции склонов, окружающей растительности, о близости воды и т. д., была бы весьма целесообразной. Такие бланки-журналы могут являться первичными документами, которые можно микрофильмировать.

Регистрация, а затем хранение исходной геолого-географической информации в виде микрофильма, приспособленного для ввода в ЭВМ, представляется наиболее оптимальной во многих отношениях.

Во-первых, микрофильм обеспечивает надежность хранения, во-вторых, исключает ошибки переноса информации с первичного документа на долговременный машинный носитель (микрофильм). В-третьих, обеспечивает возможность регистрировать любую информацию: будь это в графическом или в алфавитно-цифровом виде. В-четвертых, информация может читаться и визуально, и машиной, при этом может легко размножаться в неограниченных количествах. В-пятых, микрофильм может представлять собой в определенном смысле первичный документ, имеющий юридическую силу.

К настоящему времени практически исследованы и реализованы все процессы, связанные с микрофильмированием и вводом

в ЭВМ алфавитно-цифровой информации, записываемой в специализированных журналах, при полевой гравиметрической съемке. Однако при проведении полевых геолого-географических съемок обычно результаты записывают в виде алфавитно-цифровых данных и обязательно в сочетании с картографическим отображением. В этой связи возникают задачи ввода в ЭВМ и хранения картографических материалов. Ввод картографических материалов может осуществляться непосредственно с полевых оригиналов, а хранение — в виде микрофильмов [21]. Действительно, благодаря упомянутым свойствам микрофильмов возможно регистрирование и хранение любой картографической информации. Однако при этом возникает вопрос — каким образом вводить микрофильмированные карты в ЭВМ? По считыванию микрофильмированных картографических изображений с помощью микросканеров были проведены исследования, которые показали положительные результаты. Исходная картографическая информация, представленная в виде контуров сплошных линий (типичная форма записи в поле), может быть оперативно и надежно введена сканирующим устройством в ЭВМ и преобразована в вид, удобный для последующей обработки. Под этим следует понимать прежде всего получение упорядоченной последовательности координат точек контуров с присвоением каждому контуру номера в соответствии с принятой системой обработки. Номера контуров на полевом оригинале могут быть даны в виде растрового кодового значка (см. гл. II.10) или записаны в последовательности, соответствующей порядку экстремальных точек в процессе развертки изображения сканером. Для привязки данных специализированных журналов с картографическими данными с целью их совместной обработки в ЭВМ необходимо номера точек в журнале связывать с номерами соответствующих контуров на карте. Считывание и ввод в ЭВМ микрофильмированных карт и бланков может осуществляться одним сканером или отдельно микрокарты — сканером, а микробланки — лентопротяжным устройством с фоточувствительной линейкой. Устройство для ввода микрофильмированных бланков, разработанное для «АССОХ-Гравиметрия», показано на рис. 17, а его описание дано в работах [17, 2].

Микрофильмированные документы могут храниться в специальных шкафах в виде бобин. Поиск бобин может быть легко механизирован по принципам, разработанным в ИПС. Поиск отдельных микрокарт внутри бобины может осуществляться автоматически по индексированному коду (например, по номенклатуре карты), проставленному в межкадровых промежутках. Покадровая фиксация кодов производится в процессе фотографирования оригиналов карт.

Благодаря наличию такой оперативной информации, легко поддающейся поиску и вводу в ЭВМ, возможно полностью ав-

томатизировать процессы составления карт различного содержания, создавать фонды цифровых данных, при необходимости получать конкретные данные как по отдельным точкам, так и в их совокупности. Предварительные разработки показывают, что поиск данных для гравиметрической информации, задаваемых по соответствующему адресу (при наличии обратной связи считывающего устройства с ЭВМ), может осуществляться довольно просто и оперативно.

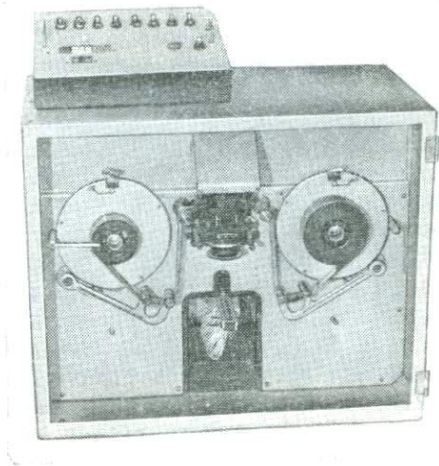


Рис. 17

Выше были рассмотрены наиболее оптимальные пути автоматизированного хранения, поиска и ввода в ЭВМ исходной геоинформации. Однако полностью проблема автоматизации комплексной обработки геоинформации на этом уровне еще не решена. Проведенное всестороннее изучение и исследование показывает, что наиболее оптимальными носителями вторичной информации, удовлетворяющими требованиям к системе, могут быть нормализованные карты.

Наиболее реальной является УАС (универсальная автоматическая система), для которой к настоящему времени уже имеется некоторый комплекс программ и отдельные технические разработки в виде действующих образцов и макетов, находящихся уже в эксплуатации или в производственных испытаниях. Часть специализированных блоков для считывания карт находится в стадии разработки. Структурная схема системы показана на рис. 18.

Результаты полевых наблюдений записывают в специализированный

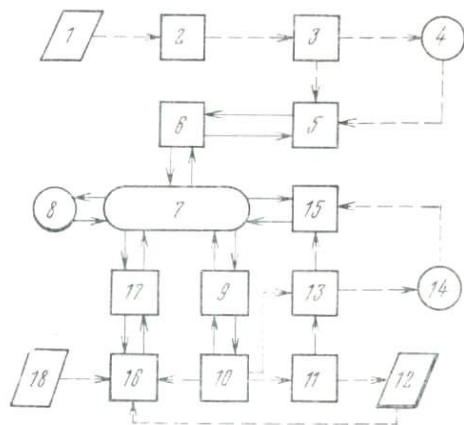


Рис. 18

журнал 1. По мере накопления журналов последние микрофильмируют 2, затем микрофильм с первичной информацией после фотохимической обработки и копирования (размножения) 3 отсылают на хранение 4 или на ввод в ЭВМ для обработки. Поиск первичной информации и ее считывание с микрофильма производится устройством 5, затем с помощью блока сопряжения 6 осуществляется ввод информации непосредственно в оперативную память ЭВМ (см. рис. 17). После такой обработки информация на выходе машины 7 регистрируется в цифровом виде на серийном ДЗУ или на киноленту 8 (также с фотохимической обработкой) и при необходимости осуществляется ввод тем же считывающим устройством 5. На втором выходе осуществляется регистрация в виде карт с помощью блока управления 9 и графопостроителя 10, имеющего регистрирующее устройство, состоящее из трех-четырех независимых пишущих элементов. С целью регистрации изображения в виде, удобным для последующего чтения карты автоматом, подбираются специальные пишущие элементы. Для построения карт изолиний со скрытым оптическим кодом пишущие элементы заряжаются одноцветным красящим светосоставом, причем состав каждого пишущего элемента обладает своим спектром люминесценции (при ультрафиолетовом облучении). Для построения растровых карт используются элементы, обеспечивающие нанесение линий разной толщины. Регистрация изображений может осуществляться на пластике гравированием (с учетом издания). Выполненный на графопостроителе оригинал карты поступает на размножение 11 (или проходит весь цикл издания). После размножения по одному из каналов карты поступают в блок хранения 12, а по другому каналу — на микрофильмирование 13, фотохимическую обработку, размножение и затем на хранение 14. Поиск и оперативная печать карт с микрофильма осуществляется устройством «Поиск». Считывание и ввод в ЭВМ микрофильмированных карт осуществляется микросканером 15.

Считывание изданных карт, взятых из хранилища 12, и карт, выполненных в поле или на графопостроителе, а также аэро- и космических снимков 18 осуществляется блоком 16, выполненным в виде сканера со считывающей фотоэлектронной головкой. Последний подключается к усилительно-формирующему блоку и дешифратору 17 и затем через буферное запоминающее устройство и блок сопряжения к ЭВМ (рис. 19).

В результате чтения нормализованных карт устройство на своем выходе (при считывании изолиний) выдает данные точек пересечения строк сканирования с изолиниями в виде трех пространственных координат x , y , z . При считывании других изображений на вход ЭВМ поступают только плановые координаты x , y и кодированные значения по яркости или цвету (более подробно считывающие устройства рассматриваются в следующем параграфе). Изображение карты может быть выведено на экран

электроннолучевой трубки со световым пером, связанной с ЭВМ через буферное запоминающее устройство и блок сопряжения.

На рис. 20 показана блок-схема устройства (развертка блоков 5, 6 на рис. 18) ввода первичной информации, представленной в виде микрофильмированных кодированных бланков, заполняемых на местах съемки вручную.

Лентопротяжный механизм 1 имеет автоматический привод. Фотоэлектронный преобразователь 2 содержит светооптический узел, проектирующий изображение киноленты на фотодиодную матрицу, преобразующую световые сигналы в электрические. Выход преобразователя подсоединен к блоку формирования сигнала 3, а последний через регистр числа 4 и блок согласования 5 — с ЭВМ. Блок управления 6 связан каналами с блоком формирования, ЭВМ и лентопротяжным механизмом [17].

Вводное устройство в основном разрабатывалось для обработки данных гравиметрической съемки, однако оно может использоваться также для обработки геологических, топографических и других данных, полученных в процессе полевой инструментальной (например, тахеометрической), глазомерной или любой другой съемки. Причем данные об объектах съемки могут быть представлены как в цифровом виде, так и в виде качественных признаков.

Специализированные журналы могут легко заполняться специалистами любой квалификации. Устройство работает в автономном режиме, т.е. может сочетаться с любой машиной при наличии специального блока сопряжения с ЭВМ [3].

Всю систему можно разделить по характеру процессов обработки информации, по виду представления ее и используемых технических средств на четыре подсистемы.

Первая подсистема включает ввод исходной информации, представляемой в виде цифровых, графических и картогра-

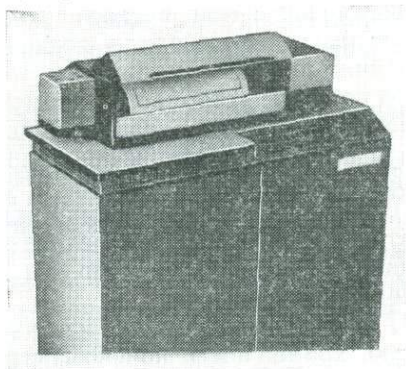


Рис. 19

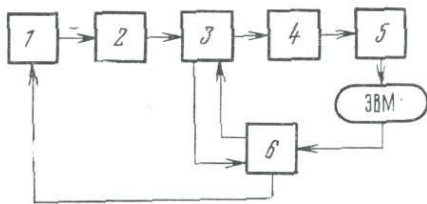


Рис. 20

фических данных полевых, аэро- и космических съемок. К первой подсистеме относятся также хранение, поиск и программы ввода информации в ЭВМ. Для ввода исходной информации могут быть использованы главным образом специализированные считывающие устройства. К ним в первую очередь необходимо отнести: устройство автоматического микрофильмирования полевых специализированных документов, устройство считывания и ввода микрофильмированных документов в ЭВМ, устройство считывания карт, аэро- и космических снимков.

Вторая подсистема включает устройства построения карт (графопостроители, печатающие устройства ЭВМ, электроннолучевые трубки и пр.) и комплекс программ обработки исходной информации.

Третья подсистема включает все, что связано с печатью, хранением и поиском карт. Сюда относятся технические средства размножения, издания карт и система их хранения и поиска.

Четвертая подсистема включает технические средства чтения и библиотеку программ анализа (обработки) картографической информации. Чтение карт может осуществляться специализированными и универсальными читающими устройствами.

Библиотека программ обработки информации должна охватывать самый разнообразный и широкий аспект задач, связанных с исследованием и прогнозированием.

Для завершения рассмотренной системы понадобится еще немало усилий, как в плане технических, так и алгоритмических разработок.

17. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СЧИТЫВАЮЩИХ УСТРОЙСТВАХ В КАРТОГРАФИИ

Разработка специализированных и универсальных устройств считывания и ввода в ЭВМ картографической информации является одной из главных проблем при создании автоматизированных систем. Существуют самые разнообразные, а порой и противоречивые точки зрения по поводу того, какие считывающие устройства для картографических целей наиболее целесообразны.

Все существующие и разрабатываемые устройства, считывающие картографическую и просто графическую информацию, можно подразделить по принципу развертки изображения (сканирующие, следящие и сочетающие в себе ту и другую развертку) и по классу решаемых задач (универсальные и специализированные). От вида картографической информации, наиболее часто используемой на том или ином производстве, зависит, какой тип устройств следует применять.

Проведенные разработки и исследования показали, что с достаточным основанием можно отдать предпочтение универсальным сканирующим устройствам (УСУ).

Обязательным условием для УСУ является непосредственный контакт с универсальной машиной. С помощью УСУ и ЭВМ можно осуществлять практически любые преобразования изображений, в том числе отслеживание линейных объектов, контуров и пр.

Сканирующие устройства бывают с электромеханической и электронной развертками. Электронная развертка более быстродействующая, но уступает по точности и разрешающей способности электромеханической и в частности барабанной. Правда, в настоящее время имеются электроннолучевые трубки высокого разрешения. Использование таких трубок в устройствах с различными системами коррекции, с целью исключения искажений изображения, может дать хорошие результаты. В этом направлении следует провести серьезные исследования.

УСУ можно подразделить на три типа:

- 1) устройства, осуществляющие простой ввод в ЭВМ любых черно-белых штриховых и полутоновых изображений;
- 2) устройства, осуществляющие простой ввод в ЭВМ любых цветных штриховых и полутоновых изображений;
- 3) устройства ввода любых изображений с частичным распознаванием информации, с целью сокращения машинного времени и упрощения процедуры распознавания на ЭВМ (например, распознавание цвета).

В настоящее время устройства первого типа выпускаются серийно. Что касается устройств второго и третьего типов, то они еще находятся в стадии разработки.

К третьему типу УСУ можно по некоторым свойствам отнести устройство, основанное на барабанной развертке. Достоинство барабанной развертки заключается в высокой разрешающей способности и точности считывания, а также в возможности считывания больших площадей карты.

Определение координат в устройствах с барабанной разверткой может производиться: шаговыми двигателями, генератором импульсов, синхронизированным с вращением барабана, оптическими устройствами типа «угол — код». Два последних отличаются относительно высоким быстродействием, но они пригодны только для принудительной развертки. Устройства, основанные на шаговых двигателях, позволяют определять координаты как во время принудительной, так и во время произвольной развертки, задаваемой программно из машины. Произвольная траектория движения развертывающего элемента возможна при наличии обратной связи с машиной. Недостаток устройств с шаговыми двигателями — низкая скорость развертки.

Учитывая достоинства и недостатки тех и других устройств для регистрации координат считываемой информации, целесообразно, чтобы УСУ содержали в себе два принципа развертки, обеспечивающих быстродействующую принудительную развертку

ку и программно управляемую из машины на основе шаговых двигателей.

Для АКС можно рекомендовать следующую блок-схему УСУ (рис. 21). Устройство содержит следующие блоки: 1 — барабан с картой; 2 — электродвигатель; 3 — редуктор; 4 — считывающую головку, содержащую три фотоэлектронных умножителя, объектив с делителем, осветитель и светофильтры; 5, 5', 5'' — усилители; 6, 6', 6'' — преобразователи аналог — код; 7 — блок сопряжения с ЭВМ; 8 — генератор синхри-

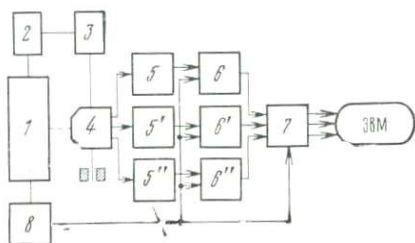


Рис. 21

Устройство работает следующим образом. Карту или снимок закрепляют на барабане так, чтобы длинная сторона располагалась вдоль оси барабана. В рабочем режиме барабан вращается и считывающая головка, продвигая поступательное движение вдоль оси барабана, осуществляет сканирование изображения. Световой поток, излучаемый осветителем, падает на изображение, отражается от него и с помощью объектива и дихроичных зеркал делится на три равноинтенсивных потока, которые, пройдя светофильтры (синий, зеленый, красный), попадают на фотоумножители. Видеосигналы с трех выходов считывающей головки поступают на усилители, а затем на входы преобразователей аналог — код.

Преобразователи опрашиваются синхри́мпульсами, идущими с генератора. В результате в вычислительную машину поступает по три кода яркости каждого элемента изображения в соответствии с тремя цветовыми координатами. При этом в нее с генератора через блок сопряжения поступают задержанные синхри́мпульсы, являющиеся сигналами прерывания для машины.

В основу этого устройства положен известный принцип ввода одноцветных изображений с квантованием по яркости одноканальным устройством [30, 70].

Принцип ввода в ЭВМ состоит в следующем.

При считывании карты информация в памяти машины регистрируется в виде матрицы (a_{ij}) , т. е. в виде равномерной решетки точек. Положение каждой точки матрицы определяется номером строки j и номером i положения точки на этой строке. Каждая точка имеет свой код в соответствии с уровнями квантования изображения по яркости B_{ij} . В известных одноканальных универсальных считывающих устройствах, при вводе изображения в ЭВМ, дается 64, 128 и в некоторых 256 уровней квантования по яркости. У большинства устройств частота то-

чек постоянна. Шаг дискретизации составляет $0,1 \div 0,25$ мм. При вводе одноцветного штрихового изображения, не имеющего различий по яркости (такие изображения называют двухградационными), дается два уровня квантования. Точкам изображения

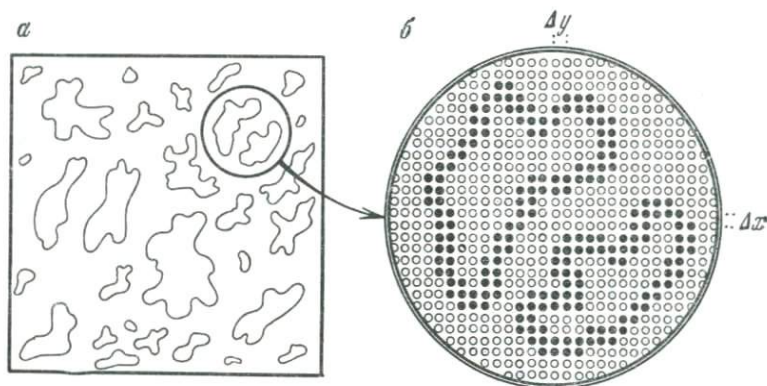


Рис. 22

дается код 01, а точкам фона — 00. В результате такого считывания в машину вводятся поразрядно и последовательно по строкам все точки как изображения, так и фона. На рис. 22 показано изображение контуров, разложенное по элементам дискретизации. Форма преобразования сигналов, применительно к считыванию растровых изображений трехканальным устройством, рассмотрена в гл. VI. 22.

В заключение отметим, что к рассмотренному УСУ могут быть приданы специализированные блоки или устройства распознавания информации на нормализованных растровых и изолинейных картах со скрытым оптическим кодом. Например, устройства, рассматриваемые в гл. VI.

ГЛАВА V
**НЕКОТОРЫЕ СПОСОБЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО
СОСТАВЛЕНИЯ АНАЛИТИЧЕСКИХ КАРТ
НОРМАЛИЗОВАННОГО ТИПА**

Автоматизация составления карт за последнее время получила довольно широкое развитие. Наиболее успешно развивается направление, связанное с созданием карт по цифровым данным, полученным в результате полевых съемок, или по статистическим данным [73, 84, 85 и др.]. Это объясняется более простой формализацией процессов машинной обработки и построения таких карт. Значительно более сложным представляется составление карт по картографическим исходным данным. В этом направлении пока нет разработок, которые бы давали полную автоматизацию всех процессов составления карт. Как известно, основная сложность здесь заключается в машинном распознавании картографических знаков. Поэтому в последнее время стала наблюдаться тенденция в сторону полуавтоматических способов составления с использованием диалоговых устройств типа «Дисплей». Последние в будущем, несомненно, найдут широкое применение, особенно при редактировании карт. Эффективность их применения повысится тогда, когда они будут воспроизводить цветные изображения высокого качества. Однако главным направлением должна все-таки быть полная автоматизация всех процессов составления и создания издательского оригинала карты. В этой связи в данной главе излагаются способы, обеспечивающие полную автоматизацию всех процессов составления карты, включая генерализацию. В гл. V.18 и V.19 рассмотрены разработки, которые практически полностью реализованы, в гл. V.20 — частично. Основное внимание в этих способах уделяется точности и детальности отображения информации.

При этом ставилась цель, чтобы сведения на нормализованной карте можно было бы практически использовать для решения широкого круга задач, включая исследовательские,

**18. АВТОМАТИЧЕСКОЕ СОСТАВЛЕНИЕ КАРТ ПО СПОСОБУ
МУЛЬТИМАСШТАБНОГО ОТОБРАЖЕНИЯ ПЛОЩАДНЫХ ОБЪЕКТОВ**

Сущность способа мультимасштабного отображения информации (МОИ) на картах рассматривалась в гл. V.18. В данном параграфе излагаются методические вопросы (в том числе алгоритм) автоматического составления карт по способу МОИ применительно к площадным (контурным) объектам [63].

Допустим, что на исходном крупномасштабном материале объекты представлены в виде замкнутых произвольно рассеянных контуров, которые могут быть в сочетании с другими элементами изображения, показанными отличающимися цветовыми тонами (см. рис. 12,а). Ставится задача составить карту в более мелком масштабе с передачей площади локализации и по возможности формы контуров.

Рассмотрим экспериментально проверенную методику автоматического составления мультимасштабных растровых карт, удовлетворяющую вышеперечисленным требованиям, сформулированным при постановке задачи.

Весь процесс составления карты делится на три основные операции:

- 1) автоматическое считывание и ввод в ЭВМ информации с исходного материала специализированным фотоэлектронным устройством;

- 2) обработка информации на ЭВМ;

- 3) регистрация карты на выходе ЭВМ с помощью графопостроителя, АЦПУ, электроннолучевой трубки или других средств.

Первая основная операция осуществляется считывающим устройством с построчной разверткой, т. е. сканированием карты по строкам. В рассматриваемых опытах использовалось сканирующее устройство, осуществляющее считывание не только элементов изображения, но и свободного поля карты. Считывание производилось поточно с постоянной частотой следования точек по такому принципу, как это изложено в работах [30, 60, 70].

При вводе в ЭВМ точки регистрировались последовательно в ячейки МОЗУ, так что каждый разряд ячейки машинного слова представляет некоторую точку. Такая запись целесообразна, когда изображение рассматривается как двухградационное (одноцветные линии на белом фоне), т. е. белое поле карты — 0, изображение — 1.

В тех случаях, когда контуры представлены в виде линий или фона нескольких градаций яркости и требуется избирательное считывание контуров, т. е. селектирование по яркости изображения, последнее расквантовывается на несколько уровней и часть разрядов ОЗУ отводится на кодирование градаций яркости.

Дальнейшая процедура обработки информации возлагается на ЭВМ. Она состоит из следующих операций:

- 1) селекция координат точек по контурам;

- 2) определение площадей отдельно для каждого контура;

- 3) группирование объектов (контуров) по величинам их площадей в соответствии с принятыми масштабными коэффициентами;

- 4) определение весовых центров контуров;
- 5) преобразование контуров с учетом коэффициентов масштабности в мультимасштабную растровую форму представления информации с выдачей данных на графопостроитель.

Селекция координат точек по контурам, осуществляемая по памяти ЭВМ, представляет собой одну из сложных процедур. Прежде чем перейти к описанию процедуры селекции точек по контурам, рассмотрим сущность алгоритма построения мульти-

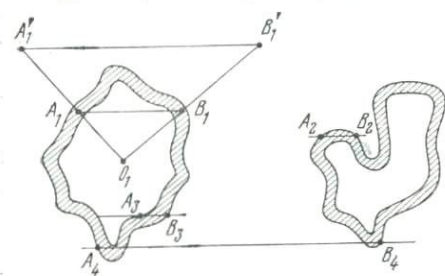


Рис. 23.

масштабного растрового изображения, который состоит в следующем.

- 1) Для каждой обрабатываемой строки выделяются левые и правые крайние точки каждого контура. На рис. 23 — это A_1B_1 , A_2B_2 и т. п.;
- 2) По координатам точек контуров исходной карты вычисляются координаты точек контуров, преобразуемых в другие масштабы, в соответствии с принятой классификацией по размерам площадей контуров. К примеру, по координатам точек A_1 и B_1 вычисляются координаты A'_1 и B'_1 так, что

$$\frac{A'_1 O_1}{A_1 O_1} = \frac{B'_1 O_1}{B_1 O_1} = m_a, \quad (V.1)$$

где m_a — масштабный коэффициент или коэффициент растяжения контура (является функцией площади контура); O_1 — центр тяжести контура.

Дальнейшее построение растрового изображения сводится к соединению этих точек (A'_1 и B'_1) линией с заданными параметрами по толщине и цвету. Пары крайних точек берутся с частотой, соответствующей принятым интервалам между осевыми линиями раstra.

- 3) Координаты A'_1 и B'_1 корректируются для того, чтобы линии раstra различных контуров не налагались в случае перекрытия контуров вследствие их растяжения.

Реализация вышеперечисленных операций алгоритма сопряжена с двумя сложными задачами.

- 1) Следует выделить крайние точки контуров (A_1B_1 , A_2B_2 и т. д.). Машина не может отличить отрезок A_1B_1 от отрезка A_4B_4 , так как она «видит» не всю карту в целом, а только одну обрабатываемую строку. По исходной информации можно только определить, принадлежит точка контуру (код = 1) или фону (код = 0). Это же относится и к отрезкам A_2B_2 и A_3B_3 . Таким образом, необходимо найти правило выделения крайних точек.

2) По каждой точке контура (скажем, по одной из крайних) нужно найти ранее определенное значение координат центра тяжести и соответствующий масштабный коэффициент m_a , т. е. нужно уметь отнести каждую точку к определенному контуру.

Эти обе задачи решаются с помощью способа «закрашивания» контуров.

«Закрасить» точку — это значит поставить на место ее прежнего кода (0 или 1) некоторый символ, который называется ее «цветом». Отсюда следует, что если раньше точка могла занимать 1 разряд, то теперь ей придется отвести больше разрядов (в данном случае 7). Строка будет состоять из кодов вида (0101101), (0110001) и т. п. Заметим, что число разрядов в коде 7 диктуется техническими особенностями машины «Минск-32», на которой велась обработка информации. Таким образом, количество возможных «цветов» равно $2^7 = 128$, что, как показали опыты, вполне достаточно.

Код (0000000) отводится точкам, не принадлежащим самим контурам. Код (1111111) — служебный и не используется для «закрашивания». «Закрасить» контуры — значит «закрасить» каждую его точку и каждую точку его внутренней части. Все точки одного контура «закрашиваются» одинаково. Если два контура не имеют общих строк (т. е. таких, в которых содержались бы точки одного и другого), то их можно «закрасить» одинаково. Последнее делается из соображений экономии «цветов», так как нецелесообразно ограничивать число контуров на карте количеством 128. Под процедурой «закрашивания» подразумевается процесс машинного перекодирования (в памяти ЭВМ) точек, а под словом «цвет» — двоичный машинный код, присваиваемый отдельным частям контура в процессе «закрашивания».

Теперь решение первой задачи, т. е. правило выделения крайних точек, очевидно. Решение второй задачи по определению принадлежности точки конкретному контуру определяется «цветом» и ее координатой по y . Таким образом, если в таблице параметров контуров, к которым относятся координаты центра тяжести и значения m_z , указать «цвет» и значения y_{\max} и y_{\min} , то необходимые параметры для любых двух крайних точек определяются простым перебором до выполнения условия:

$$\begin{aligned} \text{«цвет»} &= \text{«цвету» проверяемой точки;} \\ y_{\min} \leq y \text{ (проверяемой точки)} &\leq y_{\max} \end{aligned}$$

Выше был рассмотрен общий принцип «закрашивания» контуров, а теперь опишем эту процедуру более подробно. Она состоит из трех последовательно идущих этапов: а) предварительное «закрашивание»; б) образование управляющего массива; в) окончательное «закрашивание».

Предварительное «закрашивание». Просматривается карта сверху вниз по строкам и каждый вновь появив-

шийся отросток контура «закрашивается» в новый «цвет». Если в строке встречаются два различных «цвета» (строка на рис. 24), то «цвет» правого (в данном случае «цвет» А) освобождается, и контур далее «закрашивается цветом» левого отростка («цветом» Г). «Цвет» А может использоваться снова в других местах. Факт стыковки двух «цветов» фиксируется специальной записью. Таким образом, результатом работы программы являются: «закрашенная» карта; таблица переходов «цветов».

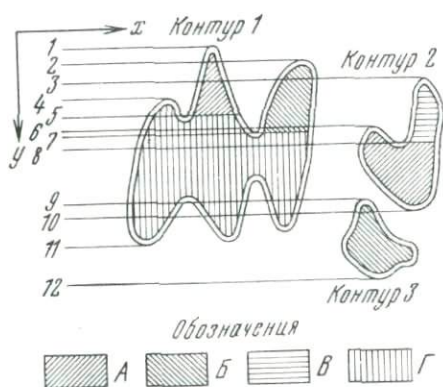


Рис. 24

Для рис. 24 запись выглядит так:

- | | |
|------------|------------|
| 1. А | 7. В ∅ → Г |
| 2. Б | 8. В ∅ → А |
| 3. В | 9. Б |
| 4. Г | 10. А ∅ |
| 5. А ∅ → Г | 11. Г ∅ |
| 6. А | 12. Б ∅ |

Первые четыре записи означают начало частей контуров, «закрашенных цветами» А, Б, В, Г; пятая означает конец «цвета» А (∅ — конец «цвета») с переходом в Г; шестая — начало А (уже в другой области); седьмая — переход Б в Г, причем Б заканчивается; восьмая — В заканчивается с переходом в А; девятая — начало Б; с десятой по двенадцатую — концы А, Г, Б.

Таким образом, в записи содержится вся информация о последовательности, в которой начинаются, заканчиваются и переходят друг в друга области, которые должны быть «закрашены» одним «цветом».

Образование управляющего массива. Управляющий массив — это последовательность «цветов», в которые нужно «закрашивать» вновь появившиеся отростки контура так, чтобы каждый контур впоследствии оказался бы «закрашенным» только в один «цвет».

В записи находятся группы, которые относятся к одному контуру. В данном примере это будут следующие группы:

- | | | |
|------------|------------|---------|
| 1. А | 3. В | 9. Б |
| 2. Б | 6. А | 12. Б ∅ |
| 4. Г | 8. В ∅ → А | |
| 5. А ∅ → Г | 10. А ∅ | |
| 7. Б ∅ → Г | | |
| 11. Г ∅ | | |

Отсюда ясно, что отростки, предварительно «закрашенные» в «цвета» A, B, Γ (контур 1), должны «закрашиваться» одинаково. Это относится к B, A (контур 2) и B (контур 3). Меняем «цвета», учитывая разделение на группы, и получаем управляющий массив:

1. A	4. A
2. A	5. B
3. B	6. B

Таким образом, получили последовательность «закрашивания» вновь встречающихся отростков контуров. При окончательном «закрашивании» получим контур 1, «закрашенный» в «цвет» A , 2 — в B , 3 — в B .

Окончательное «закрашивание». Контур «закрашивается» в последовательности, определяемой управляющим массивом, и сразу же вычисляется площадь каждого контура по количеству его точек. Координаты центра тяжести вычисляются по формулам

$$X_T = \frac{\sum x_i}{S}, \quad Y_T = \frac{\sum y_i}{S}, \quad (V.2)$$

где x_i и y_i — координаты точек по строкам и столбцам, а S — площадь контура. Здесь же вычисляются максимальные и минимальные координаты контуров, т.е. вычисляется для каждого контура наименьший описанный прямоугольник со сторонами, параллельными осям координат.

Собственно «закрашивание» осуществляется путем последовательного просмотра карты сверху вниз по строкам.

При построении растрового изображения необходимо «предупредить» наложение линий раstra друг на друга. Для этого после растяжения описанного прямоугольника в m_a раз просматривается каждая пара контуров. Если окажется, что эти прямоугольники налагаются друг на друга, то вырабатывается корректирующий сдвиг линий раstra вверх или вниз.

Программа вывода на графопостроитель выделена особо для того, чтобы ее можно было заменить на другую при выводе на различные типы графопостроителей. Координаты линий раstra представляются в виде, удобном для регистрации на графопостроителе определенной конструкции. В проведенных опытах координаты начальной и конечной точек выводились на перфоленту в виде, пригодном для непосредственного использования ее на графопостроителе «Картимат-3».

По рассмотренному способу было произведено полностью автоматически с помощью специализированного считывающего устройства, машины «Минск-32» и графопостроителя «Картимат-3» составление опытного образца карты.

Особого рассмотрения требует процесс генерализации. Этот процесс является многоуровневым и может осуществляться полностью автоматически. Благодаря мультимасштабности ото-

бражения объектов (контуров) процесс отбора фактически исключается, так как показываются все контуры. Исключение могут составлять случаи мелкомасштабного картографирования территорий с высокой плотностью (концентрацией) контуров. В этом случае самые мелкие контуры отбираются и исключаются, что осуществляется также автоматически.

Многоуровневость процесса генерализации является следствием процесса мультимасштабного отображения. Сколько существует коэффициентов масштабности, столько же и уровней генерализации. Степень обобщения границ контура зависит не только от масштаба (как обычно понимается), но и от частоты заполняющих линий раstra. Очевидно, что чем выше частота линий, тем меньше степень обобщения, и наоборот. Таким образом, степень обобщения границ есть функция от масштаба m_i и частоты линий раstra v_i , $q = f(m_i, v_i)$.



Рис. 25

На рис. 25 показан один и тот же контур с одинаковым коэффициентом масштабности, но с разным площадным весом, связанным с различной частотой линий раstra. Очевидно, что контур на рис. 25, *а* подвергается большему обобщению, чем на рис. 25, *б*, так как после считывания и восстановления границ контуров путем аппроксимации по конечным точкам линий разреженного раstra границы будут иметь более сглаженные очертания, чем по точкам частого раstra.

Учитывая то, что контуры, отображаемые в масштабе карты, подвергаются наибольшей степени обобщения, рекомендуется давать границу контура. Такой прием улучшает наглядность изображения, так как наблюдается более четкое различие контуров, изображающихся в масштабе карты, от контуров других масштабов.

На основании вышеизложенного и проведенных опытов по автоматическому составлению карт можно сделать следующие выводы:

1. Предложенная методика позволяет составлять карты площадных объектов в полном автоматическом режиме, начиная со считывания и заканчивая гравированием издательского оригинала.

2. Поиск оптимального решения при выборе площадных весов (масштабных коэффициентов) осуществляется автоматически в процессе составления карты.

3. Методика обеспечивает минимальные потери информации.

4. Кроме прямой задачи — собственно составления, предло-

женная методика позволяет решать другие задачи, имеющие самостоятельное значение:

- а) определение площадей контуров;
- б) селекция контуров по величинам площадей с выделением контуров по любой заданной градации;
- в) подсчет контуров и пр.

19. АВТОМАТИЧЕСКОЕ СОСТАВЛЕНИЕ КАРТ, ОТБРАЖАЮЩИХ РАСПРОСТРАНЕНИЕ ДИСКРЕТНОЙ ИНФОРМАЦИИ В ВИДЕ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ НЕПРЕРЫВНОЙ КАРТОГРАММЫ

На рис. 26 дана контурная карта, покрывающая некоторую территорию. Эту карту можно рассматривать как результат полевых съемок. На карте линиями контуров выделены районы, под которыми будем подразумевать границы некоторых территорий. Линии контуров черного или серого тона могут быть нанесены на голубое абрисное изображение.

С математической точки зрения районом будем называть часть области, ограниченной замкнутой кривой без самопересечения.

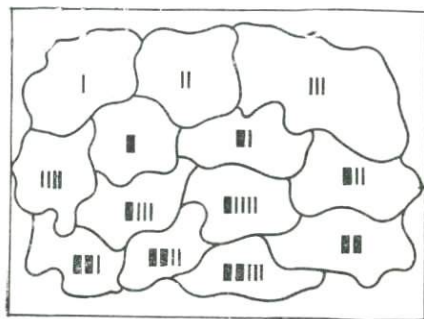


Рис. 26

Каждый район занумерован цифровым кодовым знаком (по такому же принципу, как в гл. II.10). Нумерация районов дается в соответствии с нумерацией статистических или каких-либо полевых данных о дискретных объектах. Последние могут быть представлены в цифровом виде на ДЗУ и в виде натуральных записей (отпечатанных на машинке или переписанных вручную). Если используется представление информации только в виде натуральных записей, необходимо перевести их в удобный для ввода в ЭВМ вид или вводить непосредственно с пульта.

Ставится задача по вышеперечисленным данным составить автоматически карту плотности способом, рассмотренным в гл. II.10, и вычертить ее (или выгравировать на пластике) с помощью координатографа.

Считывание и ввод контурной карты в ЭВМ может осуществляться устройством универсального типа (см. гл. II). Отметим только то отличие, которое связано с вводом цифровых кодовых знаков. Последние на карте выделяются по яркости изображения.

Квантование по яркости дается не двухградационное (когда белый фон бумаги имеет код = 0, а изображение — код = 1), а трехградационное. В этом случае присвоим белому фону бу-

маги код (00), цифровым знакам — (01) и линиям контура — (10). Цифровые знаки для небольшого количества контуров могут быть даны в два веса, например, тонкая линия — 1, а утолщенная — 5. Для того чтобы линии цифрового растрового знака распознавались по весам машиной надежно, их необходимо наносить на карту достаточно различающимися по толщине, причем в соответствии с установленными пределами (по количеству точек) на ту или иную толщину, причем для тонкой линии — 2—5 точек, а для утолщенной линии — 6—10. При таких пределах не возникает особых затруднений как в нанесении линий на контурную карту вручную, так и затем при их распознавании машиной.

Действительно, если шаг дискретизации по строке составляет 0,1 мм, то тонкая линия может иметь изменения по толщине в пределах от 0,2 до 0,4 мм, а утолщенная — от 0,6 до 0,9 мм. Выдержать такие толщины линий при нанесении цифровых знаков вручную не составляет особого труда.

Интервалы между линиями знака должны быть приблизительно одинаковыми, но не меньше 0,2 мм (если шаг дискретизации 0,1 мм). Длину линий цифрового знака желательно давать такой, чтобы по длине линии вкладывалось не меньше десяти строк развертки.

Декодирование знака в этом случае начинается с шестой строки, причем окончательное значение устанавливается по восьмой (или все равно что по третьей регистрируемой строке).

Заметим, что в случаях многоградационного, т. е. более двух градаций, по яркости штрихового изображения необходимо первоначально произвести подготовку массива для дальнейшей обработки.

Необходимость подготовки массива связана с тем, что образующиеся на краях линий точки, из-за неполного попадания всей площади развертываемого элемента, имеют яркость ниже яркости точек полного попадания элемента на изображение. В результате квантования изображения по яркости и затем преобразования в цифровой вид значительная часть краевых точек попадает в другой, более низкий уровень квантования, а следовательно, они получают и другой код. Суть подготовки массива состоит в переводе краевых точек в уровень квантования, соответствующий средним точкам, т. е. точкам, образовавшимся при полном попадании развертываемого элемента на изображение. Очевидно, что точки, лежащие посередине, будут иметь самый высокий уровень квантования, а поэтому идея принципа подготовки сводится к переводу всех контактирующих точек или все равно что точек, идущих подряд (серии точек), в максимальный уровень квантования. После этого можно считать, что массив подготовлен к обработке.

При дальнейшей обработке информации на ЭВМ и графопостроителе следует:

- 1) подсчитать площади районов;
- 2) рассчитать по формуле (II.14) частоту линий в соответствии с принятым весом на каждый заданный район по площади и цифровым (статистическим) данным;
- 3) заполнить заданные районы линиями раstra определенной частоты;
- 4) проставить на каждый район их цифровые данные арабскими цифрами (по цветам, отличающимся от цвета штриховки).

Процедура определения площадей осуществляется по тому же принципу, что и в способе, рассмотренном в гл. V.18, с разницей лишь в том, что отслеживание делается по внутренним точкам областей (контуров). Решение остальных задач является несложным, а поэтому не будем останавливаться на подробностях дальнейшего рассмотрения вопроса.

В заключение отметим, что по данному способу составления растровых карт разработана программа на языке «Фортран-IV».

20. АВТОМАТИЧЕСКОЕ ОТОБРАЖЕНИЕ ЛИНЕЙНЫХ ОБЪЕКТОВ ПО МУЛЬТИМАСШТАБНОМУ СПОСОБУ (НА ПРИМЕРЕ РЕЧНОЙ СЕТИ)

Автоматическое отображение линейных объектов по мультимасштабному способу рассмотрим на примере передачи ширины и площади водной поверхности речной сети с условием сохранения геометрического подобия. Исходной информацией является карта крупного масштаба. Ставится задача составить карту более мелкого масштаба с отображением вышеупомянутых параметров по мультимасштабному способу с полной автоматизацией всех процессов. Ниже предлагается идея, которая частично практически реализована.

Автоматическое составление карты включает следующие основные процессы:

- 1) автоматическое считывание изображения исходной карты и его ввод в ЭВМ;
- 2) выделение изображения речной сети программной идентификацией на ЭВМ или с помощью специализированного устройства;
- 3) программное прослеживание береговых линий рек и средних линий русел;
- 4) определение протяженности и исключение мелких рек по заданному цензу отбора;
- 5) преобразование исходного изображения рек в мультимасштабное изображение по их ширине;
- 6) построение изображения рек на выходе ЭВМ.

Первый процесс рассматривать не будем, так как он достаточно подробно изложен в гл. II. Второй, связанный с избира-

тельным считыванием изображения речной сети, может производиться с помощью считывающего трехканального устройства универсального типа и ЭВМ, а также с помощью специализированного устройства, выполняющего функции распознавания цвета (наряду с функцией преобразования аналог — код). Совершенно очевидно, что основным признаком для идентификации речной сети является цвет (вопрос распознавания знаков по цветовым признакам рассмотрен в гл. VI). Правда, селекция изображения только по цвету не освобождает речную сеть полностью от посторонних изображений, таких как надписи глубины рек, уреза воды, изображения озер и других знаков, показываемых на карте тем же цветом. Следовательно, необходимы другие дополнительные признаки, с помощью которых было бы возможно осуществить надежную идентификацию. Наиболее характерным признаком для распознавания рек является величина отношения длины береговой линии к площади водной поверхности, которая заведомо выше, чем для озер, затем признак извилистости, который позволит отличить реки от каналов, а признаки отсутствия изломов и замыкания от букв. Если на исходной карте речная сеть выделена одним цветом, отличающимся от всех остальных изображений, то задача избирательного машинного считывания существенно упрощается. Вопросы третьего, а также вопросы четвертого процессов рассмотрены в гл. VI. Что касается отбора рек по заданному цензу длины, то он довольно просто и легко реализуется на машине. При этом очень важно найти средства отображения рек, попадающих под ценз отбора. Полное исключение информации о количестве и пространственном распределении рек, пусть даже небольших по протяженности, снижает достоверность карты и делает ее при точных исследованиях малоприменимой для использования.

Предлагается следующий принцип отображения. Реки, попадающие под ценз отбора, показывают в точках их впадения в другие реки (изображаемые на карте) в виде короткого штриха. При этом целесообразно разбить реки на две-три градации по их длине и ширине. Самые мелкие реки показываются тонким штрихом, а более крупные — утолщенным.

Машинная реализация этой идеи сводится к простому соединению нескольких крайних точек середины русла, лежащих в устье исключаемой реки. Что касается дифференциации рек по их длине, то после определения длин всех рек все дело сведется к распределению их по установленным градациям и затем воспроизведению их в виде штрихов определенной толщины (в соответствии с принятой градацией) и постоянной длины.

Остановимся более подробно на остальных процессах. В результате операций прослеживания береговой линии рек и выделения точек, принадлежащих средней линии русла, будем располагать всеми необходимыми точками выборки для мульт-

тимасштабного преобразования изображения рек по их ширине. Процесс мультимасштабного преобразования включает четыре основные операции:

- определение ширины русла изображения реки по точкам средней линии и точкам берегов;
- классификация русел рек по их ширине в соответствии с принятой шкалой градаций;
- обобщение извилин;
- определение новых точек берегов по значению заданного масштабного коэффициента и полученного значения ширины реки.

Ширина реки определяется по нормали к средней линии. Для преобразования требуется определить ширину реки в каждой точке выборки, характеризующей среднюю линию.

Пусть i -я точка из выборки, характеризующей среднюю линию, имеет координаты $x_{0,i}, y_{0,i}$. Какие координаты может иметь точка $i+1$? Если не принимать во внимание координаты точки $i-1$, то для расположения точки $i+1$ существует 8 различных возможностей (рис. 27).

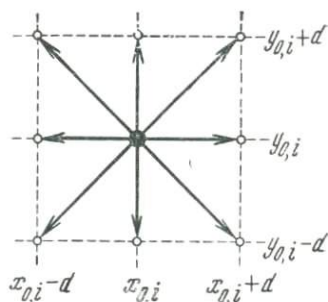


Рис. 27

Разберем один из этих восьми путей. Пусть точка i имеет координаты $x_{0,i}, y_{0,i}$, а точка $i+1$ имеет координаты $x_{0,i-d}, y_{0,i-d}$, т. е. реализуется ситуация, показанная на рис. 28, а.

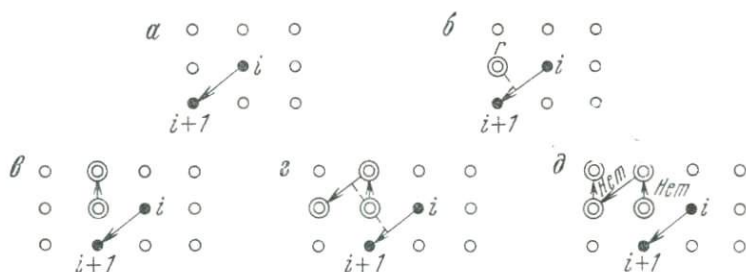


Рис. 28

В этом случае рассматривается точка r с координатами $x_{0,i+1}, y_{0,i}$ (рис. 28, б). Если эта точка совпадает с некоторой точкой из береговой выборки, то за величину ширины реки C_i принимается удвоенная длина перпендикуляра r_i , опущенного из этой точки на отрезок, соединяющий точки i и $i+1$,

$$r_i = \sqrt{\left(\frac{x_{0,i} + x_{0,i+1}}{2} - x_r\right)^2 + \left(\frac{y_{0,i+1} + y_{0,i}}{2} - y_r\right)^2}, \quad (\text{V.3})$$

при этом $C_i = 2r$. Если же эта точка не совпадает ни с одной точкой береговой выборки, то рассматриваем точку с координатами $x_{0,i+1}$, $y_{0,i} + d$ (рис. 28,в). Если она принадлежит берегу, то проверяем точку с координатами $x_{0,i+1} - d$, $y_{0,i}$ (рис. 28,з). Если эта точка из береговой совокупности, то за ширину реки примем удвоенную длину перпендикуляра, заключенного между отрезками, соединяющими точки 1 и 2, i и $i + 1$ (рис. 28,д). Если хотя бы одно из двух последних условий не выполнено, то проверяем точку с координатами $x_{0,i+1} + d$, $y_{0,i} + d$, и так далее.

Классификация русел рек по их ширине состоит в выделении рек или участков русел в группы по заранее заданным интервалам значений ширины реки в соответствии с принятой шкалой градаций: $C_1 \dots C_n$, $C_n \dots C_{2n}$, $C_{2n} \dots C_{3n}$, ..., $C_{mn} \dots C_{(m+1)n}$.

В результате предшествующей операции получаем в каждой точке выборки, характеризующей среднюю линию, значения ширины реки. Так как русло реки на своем протяжении иногда имеет заметные колебания по ширине с разным знаком, то во избежание ненужного измельчения русел реки по градациям рекомендуется определять среднюю ширину русла по несколь-

ким подряд следующим значениям его ширины $\bar{C}_p = \frac{1}{n_p} \sum_{i=1}^{n_p} C_i$,

где p — номер отрезка ($p = 1, 2, \dots, N$). Иными словами, реки разбиваются на участки по n_p точек, для каждого из которых по полученным значениям ширины в предшествующей операции находятся средние значения ..., \bar{C}_{p-1} , C_p , C_{p+1} , ..., которые затем группируются по градациям с фиксацией концов участков. Длина участков или иначе количество подряд следующих значений ширины русла, по которым находится \bar{C}_p , определяется исходя из масштаба составления, назначения карты, а также учитывается район картографирования.

При обобщении извилин рек с переходом к картам более мелких масштабов, естественно, некоторые извилины линейного объекта не изобразятся, вследствие ограничений, накладываемых средствами воспроизведения изображения (прежде всего средствами полиграфии) и перцепцией зрительного аппарата человека. Такое обобщение является вынужденным, а не целенаправленным для решения какой-либо задачи. Для аналитических карт, в равной степени и для топографических, очень важно детальное и точное отображение информации о линейных объектах с минимальным обобщением извилин.

Для автоматического обобщения извилин необходимо установить некоторые формальные критерии, по которым машина могла бы осуществлять сглаживание одних извилин и сохране-

ние других. Прежде всего формулируем, что такое извилина. Под извилиной понимается участок кривой линии без изломов (к которым прежде всего относятся изображения рек), ограниченной точками нулевой кривизны или иначе точками перегиба. Если все точки нулевой кривизны взаимно соединить прямыми, то вся кривая линия аппроксимируется ломаной линией (машинное определение точек нулевой кривизны изложено в гл. VIII.28). При этом ломаная линия $\dots a_{i-1}, a_i, a_{i+1}, \dots, a_{i+k} \dots$ поделит всю кривую на отдельные извилины (рис. 29,а) различной длины. Любую извилину можно с достаточной полнотой (для данного случая масштабной генерализации) характеризовать ее длиной ΔL — расстоянием e_0 между точками нулевой кривизны и минимальным расстоянием e_{\min} между соседними извилинами M и F (рис. 29,б). Для установления критериев обобщения извилины возьмем эти три параметра. Примем следующие критерии:

$$1) \text{ если } e_0 \text{ или } e_{\min} < \bar{C}_p K_q^{(M)} + \mu, \text{ а } \Delta L < \frac{1}{2} \pi C'_{\min} + \theta_q,$$

то извилина исключается;

2) извилины сохраняются во всех остальных случаях, где μ — минимальное допустимое расстояние между линиями (в расчете на масштаб составляемой карты), оно определяется с учетом перцепции зрения и возможностей средств воспроизведения изображения; θ_q — величина, устанавливаемая в зависимости от назначения карты, а также от значимости и природных особенностей объекта картографирования; $C'_{\min} = C_{\min} \cdot K_q^{(M)}$, где C_{\min} — минимальное значение ширины русла реки, изображенной на исходной карте (рис. 30).

Исходя из того, что

$$\begin{aligned} AB &\approx Aa + a + lB, \quad Aa \approx \frac{1}{2} \bar{C}_p \cdot K_q^{(M)}, \quad a \approx \mu, \quad lB \approx \\ &\approx \frac{1}{2} \bar{C}_p \cdot K_q^{(M)}, \quad AB = e_0, \end{aligned}$$

становится очевидным смысл первого критерия. Второй и третий критерии в определенной степени условны, особенно условно ограничение для ΔL . В первом критерии выражение $\frac{1}{2} \pi C'_{\min}$ представляет собой минимальную (пороговую) длину извилины, отображаемую на карте. Заметим, что для широких рек, изображающихся в масштабе составляемой карты, обобще-

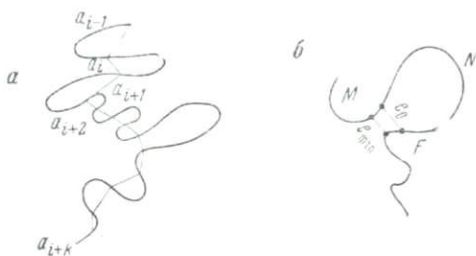


Рис. 29

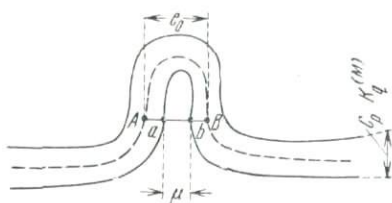


Рис. 30

случаи, когда извилина, имеющая $e < \bar{C}_p \cdot K_q^{(M)} + \mu$, сохраняется, а это значит, что неизбежно соприкосновение или пересечение контурных линий берегов. В этом случае можно рекомендовать два варианта решения.

- 1) производить сдвиг русел на величину, обеспечивающую между изображением берегов минимальный интервал μ ;
- 2) показывать среднюю линию русла точками или пунктиром.

Последний вариант позволяет геометрически точно показать положение русла на изображении извилины, но при этом снижается точность отображения площади водной поверхности и наглядность изображения. В первом же варианте все наоборот, причем он нуждается в более сложной обработке. Кроме того, в ряде случаев машинная реализация первого варианта оказывается затруднительной. Особенно сложно осуществлять сдвиг русел для таких случаев изображения извилины, как показано на рис. 31.



Рис. 31

Две следующие одна за другой извилины M и N в узких местах сливаются. Произвести сдвиг русел извилины M и N по первому варианту чрезвычайно затруднительно, так как сдвиг русел одной извилины усугубляет положение другой, кроме того, это может привести к серьезному нарушению положения русел. Для средних и больших рек, т. е. на тех изображениях рек, которые по своей ширине позволяют показывать пунктиром положение середины русла, целесообразно использовать второй вариант. Лишь для малых рек, на которых линию середины русла показать невозможно, сдвиг целесообразен, причем только на больших отдельных извилинах, а малые следует исключать.

Рассмотрим три случая взаимного положения извилины, когда необходимо осуществлять сдвиг русел:

- 1) извилины M , F , являющиеся соседними к рассматриваемой извилине N , не сохраняются в соответствии с принятыми

ние извилины можно осуществлять не по средней линии, а по береговым линиям, каждый берег отдельно.

В том случае, когда извилина исключается, т. е. когда удовлетворяется первый критерий, средняя линия русла реки проводится по точкам, в которых кривизна равна нулю.

Второй критерий допускает

Второй критерий допускает

Второй критерий допускает

критериями (т. е. аппроксимируются по нулевым точкам), а расстояние между нулевыми точками A_0, B_0 извилины N меньше суммы параметров $\bar{C}_p \cdot K_q^{(M)} + \mu$ (рис. 32,а);

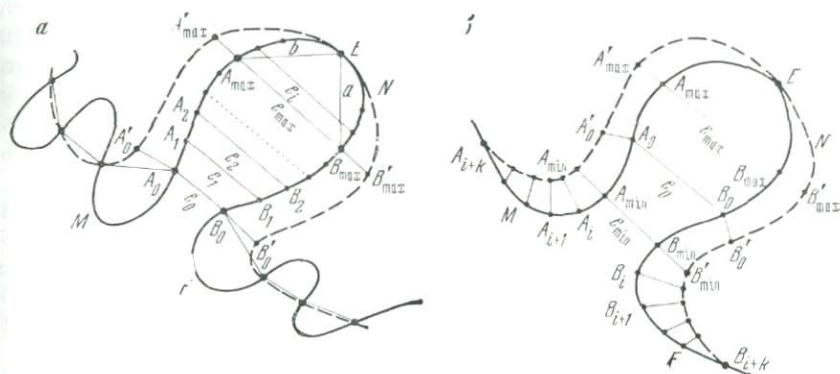


Рис. 32

2) извилины M, F , являющиеся соседними к рассматриваемой извилине N , сохраняются, а расстояние между нулевыми точками A_0, B_0 или между точками A_{\min}, B_{\min} минимального удаления извилины M, F меньше суммы параметров $\bar{C}_p \cdot K_q^{(M)} + \mu$ (рис. 32,б);

3) одна из соседних извилины M или F сохраняется, а другая не сохраняется (т. е. аппроксимируется по нулевым точкам), при этом $e_0 < \bar{C}_p \cdot K_q^{(M)} + \mu$.

Рассмотрим алгоритм реализации процедуры сдвига русел последовательно для всех указанных случаев.

1. Для первого случая, равно как и для всех остальных, сдвиг русел рекомендуется производить по точкам средней линии, а направление сдвига давать в противоположные стороны и перпендикулярно к средней линии. Первоначально определяется величина сдвига σ_0 для точек нулевой кривизны A_0, B_0 , которая рассчитывается по формуле

$$\sigma_0 = \frac{1}{2} (\bar{C}_p \cdot K_q^{(M)} + \mu - e_0). \quad (V.4)$$

На расстояние полученного значения σ_0 смещаются по перпендикуляру обе точки нулевой кривизны. В результате сдвига они займут положения точек A'_0, B'_0 (см. рис. 32, а). Затем находятся точки A_{\max}, B_{\max} с максимальным удалением по линии e_{\max} . Поиск этих точек осуществляется путем последовательного перебора пар точек $A_1B_1, A_2B_2, \dots, A_iB_i$ и определения между ними расстояния $e_1, e_2, e_3, \dots, e_i$; при этом определяются разности $e_2 - e_1, e_3 - e_2, \dots, e_i - e_{i-1}$. Как только возникает ситуация, при кото-

рой $e_i - e_{i-1} < 0$, предыдущая пара точек принимается за точки максимального удаления, т. е. $A_{i-1} = A_{\max}$, $B_{i-1} = B_{\max}$. Найденные точки A_{\max} и B_{\max} сдвигаются по перпендикуляру на расстояние σ_0 , соответственно в точки A'_{\max} , B'_{\max} . После этого находится экстремальная точка E рассматриваемой извилины N . Точка E определяется путем поиска треугольника, наиболее близко аппроксимирующего дугу, ограниченную точками A_{\max} , B_{\max} . Точка вершины этого треугольника принимается за экстремальную. Основанием треугольника является сторона $A_{\max} B_{\max}$. Разность $A_{\max} - B_{\max} - (b+a)$ должна быть минимальной в сравнении со всеми возможными треугольниками.

Процедура поиска такого треугольника начинается с поиска приближенной экстремальной точки E' , которая находится как средняя по номеру точка, лежащая между A_{\max} и B_{\max} . Обозначим номер точки A_{\max} через i , а B_{\max} через k , тогда номер точки E' , который обозначим через q , получим из выражения

$$q = \frac{1}{2} (k - i). \quad (V.5)$$

По координатам точек A_{\max} , B_{\max} и E' находим сумму двух сторон $\Sigma_q = a_q + b_q$ (см. рис. 32,а). Затем для соседних точек с номерами $q+1$ и $q-1$ находим значения сумм сторон $\Sigma_{q+1} = a_{q+1} + b_{q+1}$ и $\Sigma_{q-1} = a_{q-1} + b_{q-1}$. Полученные значения сравниваем с Σ_q . Если $\Sigma_q > \Sigma_{q+1}$ и $\Sigma_q > \Sigma_{q-1}$, то точка E' есть экстремальная точка E . В противном случае поиск продолжается, причем в сторону точки, при которой сумма сторон была больше Σ_q . Аналогично продолжаем определять суммы сторон последовательно для точек, лежащих по порядку номеров, начиная с точки, при которой сумма сторон была бы больше Σ_q . При этом всякий раз берем разность сумм Δ , т. е. сумму сторон, примыкающих к последующей точке, минус сумму сторон, примыкающих к предыдущей. С возникновением ситуации, при которой $\Delta < 0$, предыдущая точка принимается за экстремальную. Экстремальная точка E_i может быть оставлена на месте или сдвинута на расстояние σ_0 во внешнюю сторону по нормали. Это зависит от задач, стоящих перед генерализацией.

Полученные таким образом характерные точки A'_0 , A'_{\max} , E , B'_{\max} , B'_0 извилины $A'_0 B_0$ служат затем для построения по ним и по точкам нулевой кривизны соседних извилин гладких кривых, представляющих собой генерализованное изображение. Построение таких кривых рассматривается в конце параграфа (на рис. 32 генерализованная линия середины русла показана пунктирной линией).

2. Во втором случае первоначальной операцией является поиск минимального расстояния e_{\min} между извилинами M и F , т. е. определения расстояния между точками наибольшего сближения A_{\min} , B_{\min} , если таковые имеются (см. рис. 32,б). Начи-

ная от точек нулевой кривизны, последовательно между точками извилины M и F определяются расстояния: e_1, e_2, e_3, \dots . Если $e_2 < e_1$, или $e_3 < e_2$ — минимум существует, в противном случае поиск e_{\min} прекращается. По установлении существования e_{\min} производится его поиск. Как только обнаруживается ситуация, при которой $e_i > e_{i-1}$, поиск прекращается. Точками, соответствующими A_{\min}, B_{\min} , являются A_{i-1}, B_{i-1} . После этого определяется величина сдвига σ_{\max} для точек A_{\min}, B_{\min} по формуле

$$\sigma_{\max} = \frac{1}{2} (\bar{C}_p \cdot K_q^{(M)} + \mu - e_{\min}). \quad (V.6)$$

Аналогично, как и в первом случае, на величину σ_{\max} смещаются точки $A_0, B_0, A_{\max}, B_{\max}$ и находится экстремальная точка E . Затем находятся значения $\sigma_i, \sigma_{i+1}, \dots, \sigma_{i+k}$ для точек A_i и B_i, A_{i+1} и B_{i+1} соответственно по формуле

$$\sigma_i = \frac{1}{4} [2 (\bar{C}_p \cdot K_q^{(M)} + \mu) - (e_{i-1} + e_i)]. \quad (V.7)$$

Сдвиг точек осуществляется до получения значения $\sigma_{i+k} \leq d$, где d — шаг дискретизации. В случае если e_{\min} не существует, то аналогичная процедура продлевается, начиная с точек A_0, B_0 . Заметим, что вообще нет необходимости определять σ_i для всех точек средней линии русла исходной карты. Если составляемая карта уменьшается в m раз, то и точки выбираются с интервалом в m точек, т. е. A_i и B_i, A_{i+m} и B_{i+m}, A_{i+2m} и $B_{i+2m} \dots$

3. Наконец, третий случай, когда одна из извилин M или F сохраняется, а другая нет. Здесь, как и в первом случае, выполняется та же процедура с извилиной N , а затем, начиная с точки A_0, B_0 — то же, что и во втором случае, только применительно к той извилине, которая сохраняется.

Операция по определению новых точек берегов в соответствии со шкалой градаций и классификацией русел рек производится в точках средней линии, сохранившихся в результате обобщения извилин, путем перемножения значения C_i , полученного при первой операции, на масштабный коэффициент (или коэффициент яркости) в соответствии с классификацией (группировкой) русел рек по градациям ($C'_i = C_i K_q^{(M)}$). Координатами нового берега реки являются концы перпендикуляров r'_j обоих берегов, составляющих продолжение перпендикуляров r_j , полученных в первой операции.

При обработке рек, имеющих сложную береговую линию (что характерно для крупных рек), необходимо определять перпендикуляры отдельно для каждого берега реки. Для мелких рек достаточно перпендикуляра по одному берегу, который затем продлевается на другой берег с тем же значением длины. Следует обратить внимание, что точки берегов распределяются

с разной частотой, что объясняется извилистостью рек. Берег с большей кривизной имеет бóльшую частоту точек.

Наконец, последний процесс — построение изображения рек на выходе ЭВМ — относится главным образом к функциям таких внешних устройств, как графопостроитель, микрофильм-плоттер и пр. Основная операция этого процесса сводится к построению контурных линий по точкам берегов рек. Вообще, вопрос построения контурных линий по заданным точкам с помощью ЭВМ и графопостроителя к настоящему времени достаточно хорошо разработан и освещен в печати. Вычислительные операции по построению контурных линий могут производиться с помощью ЭВМ или с помощью графопостроителя, если он содержит специализированный вычислительный блок, например, линейно-круговой или параболический интерполятор. При использовании ЭВМ точки береговой линии можно соединить с помощью полиномов третьей степени. Между каждой парой соседних точек строится свой полином, а в местах их стыкования в заданных точках, во избежание изломов, для стыкующихся полиномов задается одинаковая производная.

Пожалуй, наиболее эффективным является метод построения контурной линии берега реки с применением прямых и окружностей. В этом случае ставится задача проведения через заданные точки некоторой гладкой кривой, состоящей из отрезков прямых и сопряженных с ними и между собой окружностей. Сопряжение окружностей происходит в точках, где не существует производная. На участках, где функция линейна, находится только начало и конец линейности, а на участках нелинейности функции находятся ее значения с определенным шагом*.

* Осипов Н. А. Математическое моделирование процесса построения карт изолиний и контуров с применением ЭВМ и графических устройств регистрации. Автореферат кандидатской диссертации. Москва, МИИГАиК, 1975 г.

ГЛАВА VI

МАШИННОЕ ЧТЕНИЕ КАРТ

Под машинным чтением карт понимается распознавание заданного картографического обозначения (или обозначений) какого-то конкретного объекта или явления и получение цифровых данных области его распространения, а для объектов, локализованных по пунктам,— координат их центров и количественного значения.

Таковыми цифровыми данными являются координаты основных точек границ контуров качественного фона, пространственные координаты точек изолиний, координаты центров дискретных знаков и пр.

Процедура машинного чтения в определенной степени должна моделировать процесс визуального чтения карт. Как и при визуальном чтении, вначале запоминается знак легенды интересующего объекта или явления, а затем осуществляется поиск его на карте. После идентификации знака считываются координаты области распространения или осуществляются измерительные операции. При чтении нормализованных карт, благодаря возможности распознавания знаков в одномерном пространстве, процедура распознавания знака осуществляется как бы одновременно со считыванием координат по одной строке развертки сканера.

Чтение карт может производиться как специализированными устройствами, автономно осуществляющими функции распознавания, так и универсальными устройствами ввода (совместно с ЭВМ). В одних случаях оказывается целесообразным применение универсальных устройств ввода в ЭВМ, в других — специализированных, в особенности в тех случаях, когда ЭВМ затрачивает неэкономно много времени на распознавание знаков.

Рассмотренные в этой главе способы чтения карт даны применительно к сканирующим устройствам, причем все способы ориентированы на полную автоматизацию процесса чтения карты, начиная со считывания карты в автоматическом режиме и заканчивая выдачей результатов чтения на выходе ЭВМ.

Вопросы распознавания дискретных знаков в этой главе не излагаются. Они получили достаточно широкое освещение в литературе [15, 42 и др.].

21. СПОСОБЫ ИЗБИРАТЕЛЬНОГО СЧИТЫВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ ПО ЦВЕТОВЫМ ПРИЗНАКАМ КАРТОГРАФИЧЕСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

О проблеме распознавания знаков на картах по цветовым признакам изображения

Наиболее распространенным способом изображения на специальных и тематических картах является способ качественно-го фона, основывающийся на применении цветового тона различной насыщенности и яркости с включением дополнительных обозначений в виде штриховок, индексов и пр. (преимущественно черного цвета). Для такого изображения основными различиями между знаками следует считать цветовые признаки. Очевидно, что при постановке вопроса автоматического считывания и распознавания знаков в основу создания автоматических устройств должен быть положен принцип распознавания знаков по цветовым признакам.

К настоящему времени известно довольно много разработок по вопросам распознавания цветов как спектральных, так и цветов красок и прозрачных цветных сред. Следует заметить, что особенности и возможности распознавания цвета весьма различны. Эти различия зависят от того, в каком виде представлен цвет и какие поставлены цели. Распознавание цвета окрашенных поверхностей значительно сложнее и менее надежно, чем прозрачных цветных сред. Разработки по распознаванию цветовых тонов красок на непрозрачных основах главным образом применительно к считыванию цветных графиков проводились многими специалистами.

Основные причины заключаются в самом считываемом оригинале (т. е. в форме отображения информации) и в том, что считывание и опознавание цветов необходимо производить в отраженном свете в динамике. Надежность опознавания в этом случае зависит, в первую очередь, от следующих причин: фактуры и спектральной характеристики материала (носителя информации); степени однородности по цветовому тону, насыщенности и яркости окраски; качества изображения. Причем, в отличие от графиков, где линии обычно толще и цвета однороднее, опознавание цветов на картах значительно сложнее. На карте знаки даются не сплошной заливкой какого-то одного однородного цвета, а различного рода сетками, различающимися и по частоте, и по форме и, что самое существенное, различающимися на одном и том же знаке по цветовому тону. Например, зеленый цвет (как нескольких, так и одного и того же знака) зачастую образуется путем перекрытия голубой и желтой сеток, фиолетовый — синей и красной сеток и так далее (причем разной частоты и толщины линий). Сплошные заливки занимают сравнительно небольшой процент. При перекрытии

сеток возникают субтрактивное и аддитивное смешения цветов, которые происходят по различным законам.

Все эти обстоятельства ставят перед необходимостью осуществлять двумерный анализ структуры сетки или брать достаточно большой размер развертывающего элемента с тем, чтобы точки (площадки) перекрывающихся и неперекрывающихся цветов суммировались в один общий световой поток, который и обеспечивал бы однородность цвета и его отличие от цветов других знаков (для последнего случая). Выбор размера развертывающего элемента определяется параметрами сеток, формой их перекрытия, характером рисунка и качеством печати (при низком качестве печати печати диаметр развертывающего элемента нужно увеличивать). Анализ карт показал, что размер развертывающего элемента (или светового пятна) для некоторых карт необходимо доводить до нескольких миллиметров в диаметре. Очевидно, что с увеличением размера развертывающего элемента уменьшается точность считывания.

Опознавание знаков по цветам на карте — специфический случай в общей проблеме опознавания цвета. Какой наиболее оптимальный путь решения проблемы опознавания знаков по цветам на картах? Поскольку при построении изображения карты и при ее чтении в общем смысле исходят из цветовой чувствительности и порогов различения глаза, а поиск заданного знака на карте и его распознавание делается путем сравнения со знаком легенды (эталоном), то для решения этой задачи становится совершенно естественной идея построения кибернетической модели зрительного цветового восприятия.

В кибернетике принцип опознавания цвета путем моделирования цветового зрения человека известен, правда, не в применении к картам [40]. При считывании с графиков, например, известны разработки опознавания цвета по цветовому тону и насыщенности [25, 42].

Для опознавания цветных знаков на карте предлагается способ, разработанный автором, который описывается ниже. Для опознавания ограниченного числа цветовых тонов можно использовать принцип амплитудной селекции. По этому принципу целесообразно заранее подбирать цвета знаков с необходимыми спектральными характеристиками. Достичь более или менее надежного распознавания цвета по этому принципу можно только на специально подготовленной карте с тщательно подобранными цветами.

Избирательное считывание многоцветных изображений устройствами с одноканальной считывающей головкой посредством дискриминации сигнала по амплитуде

Рассмотрим принцип избирательного считывания устройствами с одноканальной считывающей головкой, т. е. с одним

светочувствительным элементом, на примере многоцветного люминесцирующего изображения. Способ основывается на двойном селектировании: оптическом с помощью светофильтров и электронном с помощью амплитудных селекторов (или дискриминаторов) [52].

Первичное селектирование с помощью светофильтров осуществляет функции подавления невыделяемой люминесцирующей информации и выделения в максимуме полезной информации. Задача амплитудного селектора состоит в осуществлении вторичного селектирования посредством выделения полезного сигнала, амплитуда которого превышает заданный уровень напряжения.

При избирательном считывании качественной информации по заданному уровню полезного сигнала первоначально устанавливается величина максимального уровня сигнала помех, возникающего вследствие неполного срезания светофильтрами перекрытий спектров излучения невыделяемых люминесцирующих изображений.

Допустим, что все люминесцирующее изображение имеет практически одинаковую яркость. Необходимо определить отношение уровня полезного сигнала к уровню помех. Для определения этой величины прежде всего необходимо установить ее для всех случаев взаимного перекрытия спектров и за основу принять минимальное значение.

Величину лучистого потока (полезного сигнала люминесценции q), падающего на фотокатод, можно выразить в виде

$$F_{q(n)} = S\omega u \int_{\lambda_{q1}}^{\lambda_{q2}} I_q(\lambda) \tau(\lambda) d\lambda, \quad (VI.1)$$

где S — площадь светящегося пятна (развертывающего элемента), ω — телесный угол; u — спектральный коэффициент пропускания оптической системы; $I_q(\lambda)$ — спектральное распределение яркости излучения люминесцентной краски; $\tau(\lambda)$ — спектральное пропускание светофильтра; λ_{q1} и λ_{q2} — границы области спектра излучения люминесценции.

Фототок насыщения (полезного сигнала), вызываемый в цепи фотокатода потоком $F_{q(n)}$, будет

$$i_{q(n)} = S\omega u \varepsilon \int_0^{\lambda_{гр}} I_q(\lambda) \tau(\lambda) \gamma_0(\lambda) d\lambda, \quad (VI.2)$$

где ε — максимальная спектральная чувствительность фотокатода; $\gamma_0(\lambda)$ — относительная граница спектральной чувствительности фотокатода; $\lambda_{гр}$ — красная граница спектральной чувствительности фотокатода.

Аналогично величине сигнала помех, вызываемого излучением люминесценции r ,

$$i_{r(ш)} = S \omega \varepsilon \int_0^{\lambda_{гр}} I_r(\lambda) \tau(\lambda) \gamma_0(\lambda) d\lambda. \quad (VI.3)$$

Отношение полезного сигнала к сигналу помех представится в виде

$$K = \frac{i_{q(n)}}{i_{r(ш)}} = \frac{\int_{\lambda_0}^{\lambda_{гр}} I_q(\lambda) \tau(\lambda) \gamma_0(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda_0}^{\lambda_{гр}} I_r(\lambda) \tau(\lambda) \gamma_0(\lambda) d\lambda}. \quad (VI.4)$$

Поскольку величины $\tau(\lambda)$ и $\gamma_0(\lambda)$ входят под знаком интеграла в числитель и знаменатель, то для выполнения численного интегрирования достаточно задать эти величины в относительных единицах. Из ряда полученных значений K выбирается K_{\min} и по нему устанавливается предел уровня помех. При слабых световых потоках должны учитываться темновые токи фотодатчиков.

Приведем пример расчета величины K для оранжевой и светло-зеленой люминесцирующих красок, приняв излучение оранжевой краски за полезный сигнал.

На рис. 33 показаны кривые: спектральной чувствительности ФЭУ-22 $\gamma(\lambda)$, спектрального пропускания светофильтра ОС-11 $\tau(\lambda)$, спектра излучения оранжевой краски $I_q(\lambda)$ и спектра излучения светло-зеленой краски $I_r(\lambda)$ и кривые, полученные в результате интегрирования.

Проинтегрировав по формуле (VI.4) выражение в числителе, получим площадь, образованную кривой $I_q(\lambda) \tau(\lambda) \gamma_0(\lambda)$ и осью λ , а в знаменателе — площадь, ограниченную кривой $I_r(\lambda) \tau(\lambda) \gamma_0(\lambda)$ и осью λ . Поделив указанные площади, получим $K \approx 10$. Значение K показывает, что полезный сигнал в несколько раз превышает сигнал помех несмотря на сравнительно большое перекрытие спектров излучения люминесцирующих красок. Исходя из данного примера и учитывая разрешающие способности современных фотодатчиков и других элементов считывающих систем, представляется возможным допускать большую степень перекрытия спектров излучения.

Задача амплитудного селектора состоит в выделении импульсов полезного сигнала, амплитуда которых превышает за-

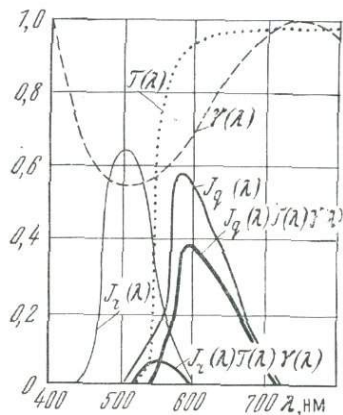


Рис. 33

данный уровень напряжения, ниже которого лежат сигналы помех, т. е. тогда, когда необходимо произвести выделение импульсов с амплитудами $u_u > u_{\min}$ (рис. 34). Порог селектиро-

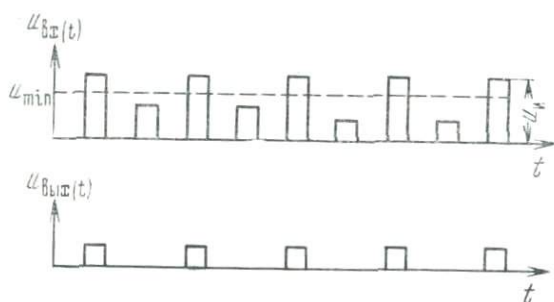


Рис. 34

вания выбирается выше наибольшей амплитуды импульсов, исходящих от невыделяемого люминесцирующего изображения (возникающего от неполного срезания светофильтрами перекрывающихся спектров излучения).

Порог селектирования u_{\min} зависит от напряжения смещения, поданного на вход селектора. На рис. 35 показан известный амплитудный диодный селектор, у которого пороговое напряжение может создаваться путем понижения потенциала анода диода за счет внешнего источника E и делителя $\frac{R1}{R3}$.

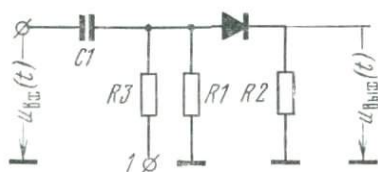


Рис. 35

Величина порогового напряжения определяется по формуле

$$u_{\min} = \frac{E}{R1 - R3} R1. \quad (VI.5)$$

В результате через селектор будут проходить только импульсы, превышающие заданный порог, т. е. импульсы полезного сигнала.

Автоматическое считывание качественной информации с карт способом опознавания знаков по цветовым признакам

Исходя из современной теории цветоведения, окраска любого отраженного или излучаемого светового потока может быть представлена как результат смешения в определенных пропор-

циях x' , y' , z' трех основных цветов X , Y , Z . Это может быть представлено цветовым уравнением

$$F = x'X + y'Y + z'Z. \quad (\text{VI.6})$$

Допустим, что распределение интенсивности в спектре данного излучения задано функцией $I(\lambda)$, а распределение интенсивностей в трех основных излучениях представлено кривыми $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$, где \bar{x} , \bar{y} , \bar{z} — удельные цветовые координаты. Любой отраженный световой поток от окрашенной поверхности, в том числе и от карты, имеет сплошной спектр излучения. Состав излучения такого спектра можно представить как произведение спектральной интенсивности $I(\lambda)$ источника и спектрального коэффициента отражения $\rho(\lambda)$.

С помощью специальных колориметров можно произвести определение любого цвета на карте и выразить в координатной форме

$$\begin{aligned} x' &= \int \bar{x}(\lambda) I_V(\lambda) \rho(\lambda) d\lambda; & y' &= \int \bar{y}(\lambda) I_V(\lambda) \rho(\lambda) d\lambda; & z' &= \\ & & & & &= \int \bar{z}(\lambda) I_V(\lambda) \rho(\lambda) d\lambda, \end{aligned} \quad (\text{VI.7})$$

где $I_V(\lambda)$ — спектральная интенсивность излучения источника V ; $\rho(\lambda)$ — спектральный коэффициент отражения бумаги (поверхности карты) для излучения с длиной волны λ .

Для облегчения поиска цвета по его трем координатам методом автоматического опознавания предварительно рассмотрим обычный процесс визуального опознавания цветного знака на карте.

Известно, что визуальный процесс чтения карты начинается с рассматривания и запоминания цвета условного знака легенды, а затем по зрительному цветовому образу осуществляется поиск и опознавание идентичного цвета на карте. При наличии на карте большого количества цветных знаков опознавание становится затруднительным. В таких случаях прибегают к повторному восстановлению зрительного образа легенды или к частым кратковременным сравнениям, позволяющим более надежно установить идентичность искомого на карте цвета с заданным в легенде цветовым тоном.

Затруднения, возникающие в связи с опознаванием цветных знаков, близких по тону, объясняются недостаточной разрешающей способностью глаза и в значительной степени световой и цветовой адаптацией глаза, а также некоторой его инерционностью. Исключить влияние ошибок, связанных с особенностями устройства глаза, возможно лишь в тех случаях, когда заданный цветовой тон и опознаваемый находятся в равных условиях окружающей среды и воспринимаются глазом одновременно. К такому восприятию и сравнению цветных знаков картографы часто прибегают, когда производят копирование цвета

в процессе раскраски карты по заданной шкале. Принцип сравнения двух световых полей в один и тот же момент времени широко применяется в визуальных фотометрах, обеспечивающих высокую точность измерения. Это дает основание полагать, что такой метод является наиболее точным и что его следует положить в основу создания считывающих систем. Принимая за основу указанные особенности зрительного восприятия, не менее важно учесть функционирование его цветовоспринимающих элементов. При выборе фоточувствительных элементов считывающих систем по их спектральной чувствительности следует исходить из трехкомпонентной теории цветового зрения и существующей в цветоведении системы трехцветных координат. В соответствии с этим следует взять три фоточувствительных элемента с максимумами спектральной чувствительности к синей, зеленой и красной областям спектра и светофильтрами, имеющими соответствующие спектральные коэффициенты пропускания.

Для создания условия одномоментности восприятия заданного цвета, взятого из легенды (в дальнейшем называемого эталоном), и опознаваемого на карте цвета, идентичного эталону, необходимо создание двух совершенно одинаковых приемников: первого — для восприятия цвета эталона, второго — для поиска ему идентичного цвета на карте (по методу одномоментного восприятия и сравнения сигналов, идущих от эталона и фона карты). При этом необходимо, чтобы эталон и карта находились в равных условиях освещения.

С учетом заданных условий предлагается создание следующего считывающего устройства, схема которого показана на рис. 36 [46, 53, 42].

Устройство содержит осветитель 1, призму 2, разделяющую световой поток на два, направляемых конденсаторами 3 соответственно на условный знак легенды (эталон) 4 и на карту 5 (при этом сканируется). Излучение с условного знака легенды и с карты, направляясь каждое по своему каналу, поступает на два идентичных датчика, состоящих из объектива 6, трехгранной призмы (или полупосеребренных зеркал) 7, разделяющей

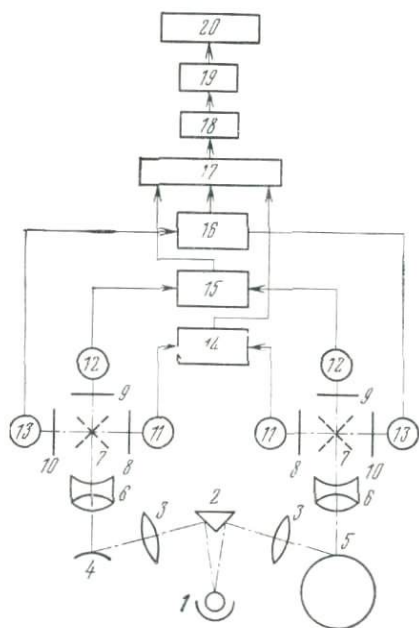


Рис. 36

световой поток на три интенсивных потока, направленных через красный 8, зеленый 9 и синий 10 светофильтры соответственно на три фотоэлектронных умножителя 11, 12, 13. Сигналы с выхода идентичных фотоэлектронных умножителей поступают на блоки сравнения 14, 15, 16, состоящие из логических элементов «НЕ» и усилительно-формирующих каскадов. Выходы блоков сравнения подключены к схеме совпадения 17 (выполненной в виде логического элемента «И»), сигнал с которой через формирователь 18 и усилитель 19 поступает в блок 20 обработки информации.

Сигнал на выходе схемы совпадения 17 возникает в том случае, когда излучения с карты в момент ее сканирования совпадают по всем трем цветовым характеристикам с цветом заданного условного знака легенды.

Рассмотренное устройство считывания качественной информации по цветовым признакам может быть использовано для современных карт с цветовым качественным фоном (к сожалению, идея этого устройства практически не реализована).

В данном устройстве возможно создание дополнительного блока, исключающего отрицательное влияние на точность считывания штриховых элементов основы карты.

На основе трехцветной системы цветовых координат может быть построено устройство, осуществляющее распознавание дискретно. Устройство может содержать светочувствительный элемент, блок памяти с тремя регистрами, блок сравнения и логический блок совпадения. В таком устройстве считывание производится поэтапно и дискретно, т. е. вначале записываются в ДЗУ цветовые характеристики эталона (заданного знака легенды), а затем производится считывание построчной разверткой (принцип известен).

Вообще такой принцип распознавания цвета может быть реализован с помощью ЭВМ и универсальных считывающих устройств, осуществляющих трехцветный ввод. Эта задача может иметь программную реализацию. Правда, такой дискретный принцип менее надежен, чем первый, осуществляющий аналоговое моделирование. С некоторым основанием можно сказать, что опознавание знаков фотоэлектронной системой, моделирующей зрительный процесс восприятия цвета, может давать результаты, по надежности схожие со зрением, и особенно если в качестве считывающей головки будет использоваться перептрон в виде сетчатки глаза. Правда, промоделировать сетчатку глаза, содержащую 5 000 000 светочувствительных элементов, пока не представляется возможным.

22. СПОСОБЫ ИЗБИРАТЕЛЬНОГО СЧИТЫВАНИЯ (РАСПОЗНАВАНИЯ) КАЧЕСТВЕННОЙ И КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ, ОТОБРАЖЕННОЙ МЕТОДОМ РАСТРОВОЙ ДИСКРЕТИЗАЦИИ

Метод растровой дискретизации, в отличие от традиционных методов отображения информации, позволяет осуществлять распознавание картографической информации в одномерном пространстве (таким свойством обладают еще изолинии со скрытым оптическим кодом). Это свойство МРД существенно упрощает процедуру машинного распознавания информации.

Распознавание знака в одномерном пространстве означает распознавание по данным, полученным машиной, при одной строке развертки луча сканирования. Правда, в сложных случаях целесообразно анализировать по нескольким строкам развертки. Распознавание может производиться как специализированными блоками, так и с помощью ЭВМ. При распознавании растровых знаков (по МРД) сканирующее устройство может работать в режиме принудительной развертки. Последняя, в отличие от других более сложных разверток, отличается высоким быстродействием и простотой конструкции. К устройствам с принудительной разверткой относится большинство существующих сканеров.

Рассмотрим некоторые способы распознавания с помощью ЭВМ (когда считывающее устройство выполняет только функции ввода) и распознавание с помощью специализированных блоков.

Распознавание информации по параметрам и комбинациям линейных растров с помощью ЭВМ

Рассмотрим принципы распознавания знаков, построенных по МРД, когда все процедуры распознавания возлагаются на ЭВМ, а считывающее устройство выполняет только функции ввода.

Заметим, что здесь имеется в виду такой ввод, при котором каждая дискретно фиксируемая точка по строке состоит из трех серийно сгруппированных точек, характеризующих по своим значениям тот или иной цвет, в виде трех цветовых координат. Это устройство рассмотрено в гл. IV.17.

На рис. 37 показана последовательность преобразования многоцветного растрового изображения в код ЭВМ с помощью устройства ввода цветных изображений.

На рис. 37,г показан пример из трех элементов линий растра, из которых два зеленых элемента разной толщины и один красный. Номерами 1, 2, 3, ..., $i + 1$ обозначены различные положения развертываемого элемента в процессе сканирования линий растра.

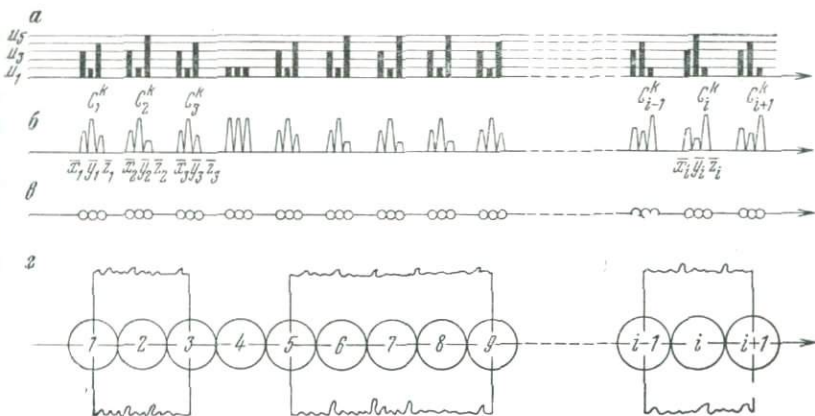


Рис. 37

На рис. 37,б показаны точки, регистрируемые тремя каналами. Каждому дискретно фиксируемому положению развертывающего элемента 1, 2, 3... соответствуют три точки. Каждая из трех точек представляет свой канал по цвету. Все три точки вместе отображают интегральную характеристику цвета в виде трех цветовых координат в пределах площадки развертывающего элемента. Соотношение величин сигналов по цвету на выходе считывающей головки показано на рис. 37,б. На рис. 37,а показаны соотношения квантованных сигналов после преобразования. Каждому уровню квантования u_1, u_2, \dots, u_i соответствует свой цифровой код, записываемый в памяти ЭВМ.

Рассмотрим вначале принципы распознавания отдельно по следующим параметрам: толщинам линий, частоте (интервалам между линиями), яркости, цвету. Затем рассмотрим принцип распознавания, когда имеется сочетание из нескольких параметров линий раstra, т.е. когда требуется качественное распознавание знаков по комбинациям различных параметров линий раstra.

Принцип распознавания толщин линий рассматривался в гл. V.19, напомним лишь о том, что толщины линий определяются по количеству точек, следующих друг за другом без разрыва и имеющих не нулевой код (при многоуровневом квантовании эти точки по уровню должны превышать порог разделения точек на фон и изображение).

Надежность распознавания в значительной степени определяется тем, насколько оптимально выбраны критерии соотношения толщин линий с величиной развертывающего элемента и порогом разделения на двухградационное квантование. За оптимальный вариант примем следующие критерии: 1) порог разделения точек на фон и изображение по уровню квантования должен соответствовать такому положению развертываю-

шего элемента, когда 50% его площади занято изображением (на рис. 37,г соответствуют точки 1, 3,5); 2) минимальная толщина должна определяться двумя точками; 3) различие в толщинах линий по количеству попадающих точек должно составлять две-три точки.

Распознавание знаков по интервалам между линиями аналогично распознаванию по толщинам линий раstra с той лишь разницей, что диаметрально противоположно изменяется соотношение сигналов по уровням квантования.

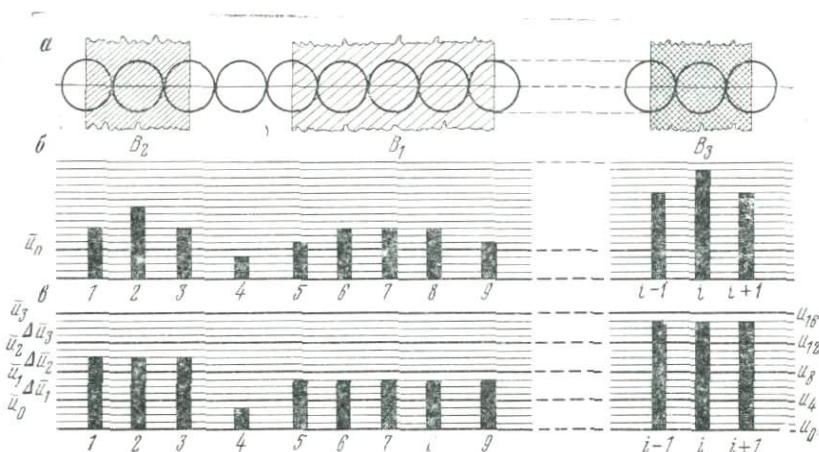


Рис. 38

Распознавание знаков по яркости линий осуществляется по кодам, соответствующим заданным уровням квантования сигналов по яркости. Такое распознавание возможно только после предварительной подготовки массива, которая состоит в приведении контактирующих точек (превышающих по уровню квантования порог разделения на фон и изображение) к одному уровню. Принцип предварительной подготовки массива частично рассматривался в гл. V.19.

На рис. 38,а показаны взаимные положения развертывающего элемента в отношении линии раstra в процессе сканирования. На рис. 38,б показаны квантованные сигналы, возникающие при каждом дискретно регистрируемом положении развертывающего элемента. На рис. 38,в показаны преобразованные сигналы в результате предварительной подготовки массива. До начала преобразования осуществляется разделение точек на фон и изображение. Порог разделения дается выше уровня точек фона. Идея преобразования состоит в переводе всех смежных (соседних) точек в один уровень квантования, который задается по максимальному значению из всей серии смежных точек.

Например, для первой линии будет точка 2 (см. рис. 38,б), следовательно, точки 1 и 3 переводятся в этот уровень (см. рис. 38,в).

Приведение точек к одному уровню возможно по среднему значению кодов точек. Правда, в этом случае распознавание будет менее надежным.

Рассмотрим дальнейшую методику распознавания линий по яркости. Допустим, что имеются три градации линий по яркости B_1, B_2, B_3 . При считывании этих линий было дано шестнадцать уровней квантования (см. рис. 38,в). Требуется распознать линии по их яркости.

Вначале необходимо определить границы разделения уровней квантования в соответствии с градациями яркости. Для этого уровни квантования, расположенные выше порога \bar{u}_n , делят на заданное количество градаций яркости (в данном примере на три уровня $\bar{u}_1, \bar{u}_2, \bar{u}_3$). В результате все точки с уровнями квантования, соответствующими яркости B_1 , будут в интервале $u_4 - u_6$, точки с яркостью B_2 — в интервале $u_8 - u_{12}$, точки с яркостью B_3 — в интервале $u_{12} - u_{16}$.

Для того чтобы выделить ту или иную градацию яркости (т. е. избирательно считать линии определенной яркости), достаточно задать машине коды, соответствующие данному интервалу уровней квантования.

Распознавание линий по цвету по такому же принципу не надежно. Распознавание знаков по цвету, а также по сочетанию нескольких параметров раstra целесообразно осуществлять путем создания в памяти машины эталона знака, а затем при считывании карты всякий раз осуществлять сравнение считываемого изображения с эталонным.

Распознавание по эталону (или знаку легенды карты), записываемому в памяти машины, может осуществляться несколькими способами. Идея одного из способов изложена в гл. VI.23.

Автоматическое чтение растровых карт специализированными считывающими устройствами с автономными блоками распознавания информации

Распознавание знаков с помощью специализированных устройств может осуществляться как по отдельным параметрам раstra, так и по всевозможным сочетаниям (комбинациям). Создание специализированных устройств имеет целью повысить надежность распознавания и высвободить ЭВМ для более эффективного решения исследовательских задач.

Предлагается специализированное читающее устройство, осуществляющее распознавание и отбор координат границ заданных контуров, упорядочение (отслеживание) которых затем выполняется на ЭВМ.

На рис. 39 показана блок-схема читающего устройства. Логические блоки устройства, приведенные на данной схеме, позволяют распознавать комбинации линий, имеющих не более трех толщин и трех цветов различной яркости. Рассмотрим работу такого устройства.

Растровая карта закладывается в сканер СК таким образом, чтобы при сканировании развертывающий элемент пересекал линии раstra в перпендикулярном направлении. Считывающая головка в данном случае, состоящая из одного светочувствительного

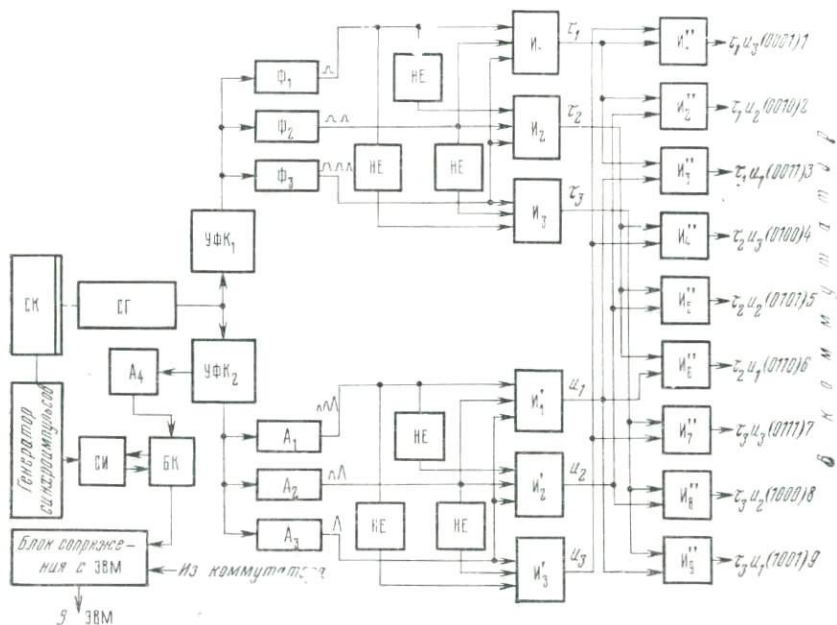


Рис. 39

тельного элемента, преобразует световые сигналы в напряжение. По одному из каналов сигналы поступают на два усилительно-формирующих каскада УФК. Выход из них УФК₁ подсоединен к трем фильтрам Φ_1, Φ_2, Φ_3 для длительностей импульсов τ_1, τ_2, τ_3 (соответственно трем различным толщинам линий T_1, T_2, T_3). Фильтры совместно с логическими элементами НЕ и И образуют блок, осуществляющий селекцию импульсов по длительности. Выходы логических элементов $И_1, И_2, И_3$ подсоединены к девяти логическим элементам типа И. Выход второго УФК₂ соединен с тремя амплитудными дискриминаторами A_1, A_2, A_3 , которые совместно с логическими блоками типа НЕ и И на выходе выдают сигналы соответственно амплитудам импульсов. Элементы $И'_1, И'_2, И'_3$ подсоединены (анало-

гично предыдущему случаю с длительностями импульсов) к девяти логическим элементам И''.

В результате на выходе логических элементов I_1'' , I_2'' , I_3'' , I_4'' , I_5'' , I_6'' , I_7'' , I_8'' , I_9'' образуются следующие сигналы распознавания:

1	сигнал	τ_1	u_3	сочетания	минимальной	толщины	T_1	с яркостью	B_3 ;
2	»	τ_1	u_2	»	»	»	T_1	»	B_2 ;
3	»	τ_1	u_1	»	»	»	T_1	»	B_1 ;
4	»	τ_2	u_3	»	средней	»	T_2	»	B_3 ;
5	»	τ_2	u_2	»	»	»	T_2	»	B_2 ;
6	»	τ_2	u_1	»	»	»	T_2	»	B_1 ;
7	»	τ_3	u_3	»	максимальной	»	T_3	»	B_3 ;
8	»	τ_3	u_2	»	»	»	T_3	»	B_2 ;
9	»	τ_3	u_1	»	»	»	T_3	»	B_1 .

Все девять каналов подсоединены к коммутатору. С помощью коммутатора устанавливается та или иная кодовая комбинация в соответствии с сигналами девяти вышеупомянутых каналов.

Регистрация координат граничных линий распознанных контуров осуществляется следующим образом.

При попадании развертывающего элемента на граничную линию контура (обычно имеющую черный цвет), на выходе амплитудного дискриминатора A_4 возникает сигнал, который поступает в блок регистрации координат БК. Последний запрашивает значение координат из счетчика импульсов СИ и заносит их на регистры. При поступлении из коммутатора сигнала о распознавании знака на карте по заданной на коммутаторе кодовой комбинации координаты передаются в ОП вычислительной машины. Следующие за этим координаты в момент выхода из контура также передаются в ЭВМ. В момент прихода следующего сигнала с блока A_4 (при отсутствии сигнала из коммутатора) координаты записываются в отдельный блок ОП нераспознанных координат. Таким образом, в память ЭВМ записываются координаты заданных, распознанных и отдельно координаты нераспознанных контуров. Дальнейшие функции, связанные с упорядочением точек, т. е. отслеживанием контуров, осуществляются по памяти ЭВМ.

Возможности распознавания знаков по комбинациям линий раstra можно существенно расширить, если использовать считывающую головку из трех светочувствительных элементов со светофильтрами.

23. МАШИННОЕ ЧТЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ, ПРЕДСТАВЛЕННОЙ НА КАРТЕ В ВИДЕ ОГРАНИЧЕННЫХ СВЯЗНЫХ ОБЛАСТЕЙ

Необходимость машинного чтения карт, на которых информация представлена в виде ограниченных связных областей, возникает для решения многих задач, в том числе для иссле-

дования взаимосвязей и закономерностей природных явлений, для составления производных карт, для цифрования контуров и пр. На традиционных картах такую информацию обычно показывают способом качественного фона.

Процесс машинного чтения карты такого типа включает считывание и ввод всего изображения карты в ЭВМ, распознавание фоновых знаков по заданному эталону и отслеживание контуров с целью получения координат границ областей распространения анализируемого явления.

Считывание картографического изображения и его ввод в ЭВМ рассмотрим на примере одноканального универсального устройства ввода графической информации, осуществляющего многоградационное квантование по яркости. При этом заметим, что ввод с квантованием изображения по яркости только по одному каналу накладывает серьезные ограничения на возможности распознавания картографических знаков по цветовым признакам. Исключение могут составить высокопрецизионные устройства, обеспечивающие последовательный трехкратный ввод со сменной светофильтров, выделяющих соответственно зеленую, красную и синюю области спектра. Возможность и надежность распознавания знаков существенно выше при вводе изображения трехканальным устройством, обеспечивающим одномоментный трехцветный ввод. Правда, в этом случае объем информации, который пришлось бы принять машине, существенно увеличился бы.

Алгоритм чтения карт качественного фона состоит из трех основных частей:

- 1) ввод и упаковка информации;
- 2) отслеживание границ контуров;
- 3) распознавание контура по яркости цветового фона или по структуре линий раstra.

Распознавание знаков может быть надежным при условии, если: а) черным цветом показаны только линии контура; б) качественный фон дан заливкой серыми или цветными тонами, имеющими достаточные для амплитудного селектирования интервалы яркости, или цветными линиями раstra по методу растровой дискретизации; в) прочие элементы содержания, включая основу и надписи, даны одним цветом, например, серого тона.

Перечисленные условия вызваны ограничениями, накладываемыми формой представления информации в ЭВМ с помощью устройства ввода с одним каналом и необходимостью распознавания знаков в одномерном пространстве. Последнее продиктовано прежде всего экономической эффективностью, которая определяется простотой процедуры распознавания знаков и оперативностью процесса машинного чтения карты.

Вышеперечисленные ограничения не исключают возможность машинного чтения также традиционных карт, форма изо-

бражения которых отвечает поставленным условиям. Однако во всех случаях следует иметь в виду, что как только распознавание знаков в одномерном пространстве становится невозможным, т. е. возникает необходимость анализировать знаки по M строкам, существенно падает экономическая эффективность машинного чтения таких карт. Как известно, на традиционных картах знаки качественного фона, как правило, даются всевозможными типографскими сетками, имеющими произвольную структуру (в отличие от МРД). Распознавание таким образом возможно только в двумерном пространстве, за исключением знаков, имеющих однонаправленный линейный растр и заливки. В этой связи алгоритм разработан применительно к картам, все знаки которых выполнены заливкой (допускается также частая сетка) или только по МРД. Описание алгоритма отслеживания контуров дано в работе [43].

Принципы распознавания как растровых (по МРД), так и фоновых залитых знаков имеют много общего. В одном и другом случаях первоначально считывается заданный знак легенды карты. По полученным при этом квантованным значениям устанавливаются пределы кодов эталона. После ввода в ЭВМ всего изображения распознавание заданного знака осуществляется постоянным сравнением получаемых при считывании кодов с кодом эталона. При совпадении последних возникает сигнал распознавания. Для повышения надежности распознавания окончательным считается такое, когда на строке в интервале между двумя границами контура за достоверные сигналы принимаются только те, количество которых в два раза и более превышает количество прочих сигналов.

Формирование эталона в памяти машины может осуществляться также путем набора оператором у пульта нужного кода, если последний заранее известен. Более подробно процедуру распознавания рассмотрим применительно к нормализованной карте, выполненной по МРД, причем учтем, что все знаки карты построены в «троичном» растровом коде, т. е. сгруппированы в три линии с комбинациями различных параметров линий растра [68].

В результате ввода и упаковки информации на обработку поступает участок строки между двумя границами контура (т. е. строка внутренней области контура). Причем ставится условие, чтобы «троичный» растровый код, состоящий из тройки вертикальных цветных прямых линий, имел промежуток между группировками (тройками линий) по меньшей мере в два раза больше промежутка между самими линиями в тройке. Инвариантами, по которым происходит распознавание, являются цвета прямых в тройках и ширина этих прямых. Величина сигнала, соответствующего данному цвету, а точнее яркости, задается в некотором диапазоне. Эти отклонения от канонической величины сигнала запоминаются в специальном массиве КВАНТ

размерности 64. Далее, в действительности рассматривается не ширина цветной вертикальной прямой, а сумма Σj квантованных значений сигнала при горизонтальном сканировании этой прямой.

Заданный эталонный код (считанный знак легенды карты), по которому происходит распознавание, хранится в массиве «*i* ЭТАЛН». При сравнении «*i* ЭТАЛН» и распознаваемого кода последний считается распознанным при условии, если коды яркости соответствующих прямых совпадают (не выходят за пределы отклонения δ), а величины Σj для «*i* ЭТАЛН» и рассматриваемой прямой должны мало отличаться. Величина этого отличия вычисляется по формуле

$$\varepsilon = \frac{\delta \Sigma j}{2C_i}; \quad (\text{VI.8})$$

где ε — величина допустимого отклонения; Σj — суммарные значения квантовых сигналов j по яркости данной прямой в «*i* ЭТАЛН», C_i — распознанный код цвета или яркости данной прямой (средний); δ — разность между максимальным и минимальным значением кода, задающим яркость C_i .

Алгоритм распознавания заданной кодовой комбинации, составляющей группировку в три линии различных параметров по цвету и толщине, является несложным.

Первоначально просматривается слева направо поточечно заданный участок карты и выделяются белые и цветные промежутки по строкам, а затем выполняются операции выделения заданной кодовой комбинации со следующей последовательностью операций.

1. Отыскиваются первые три белых участка шириной $Ш_1$, $Ш_2$, $Ш_3$ со свойством $Ш_1 > 2Ш_2$, $Ш_1 > 2Ш_3$.

Если таких участков нет, то код считается нераспознанным.

2. Для соответствующих цветов C_1 , C_2 , C_3 находятся величины C_i и сравниваются с соответствующими элементами массива «*i* ЭТАЛН». При совпадении вычисляются величины Σj и величины ε для каждой цветной прямой. При несовпадении код считается нераспознанным.

3. Используя вычисленные во 2-ой операции величины Σj и ε , сравнивают суммарные интенсивности с эталонными из массива «*i* ЭТАЛН». При несовпадении их (точность до ε) — код нераспознан.

4. Код распознан. Информация об этом поступает в основной алгоритм, вызвавший подпрограмму «КОД». На этом процедура распознавания заканчивается.

По этому алгоритму разработана программа на языке «Фортран-Дубна» и опробована на машине БЭСМ-6 по специально составленному тесту.

24. МАШИННОЕ ЧТЕНИЕ КАРТ ИЗОЛИНИИ

Автоматизация чтения и анализа карт изолиний относится к актуальным проблемам картографии. Возможности использования таких карт огромны, начиная от определения площадей физических поверхностей, объемов и цифровых моделей при проведении инженерно-изыскательских работ до различных преобразований поверхностей и их анализа при проведении всевозможных исследований природных и социально-экономических явлений.

В данном параграфе рассматривается в основном одна задача этой проблемы — машинное чтение изолиний с целью построения цифровых моделей [20, 66].

Машинное чтение нормализованных карт изолиний с помощью ЭВМ

Информация в виде координат x , y , z с нормализованных карт изолиний может считываться при любой траектории развертывающего элемента считывающей головки, т. е. как при прямолинейном, так и при криволинейном движении по полю карты. Можно строить одиночные профили и осуществлять считывание сплошным построчным сканированием с целью построения цифровой модели [20, 66]. Для этого могут быть применены различные считывающие устройства, работающие вместе с ЭВМ или самостоятельно. При первом способе кодирования, изложенном в гл. IV. 17, может быть использовано вводное одноканальное устройство универсального типа, осуществляющее квантование изображения по яркости. При использовании второго способа кодирования необходимо трехканальное устройство.

При использовании устройств универсального типа, как одноканальных, так и трехканальных (для ввода многоцветного изображения), необходима программа обработки информации на ЭВМ. Ниже рассмотрен несложный алгоритм построения цифровой модели с помощью такого устройства и ЭВМ (по этому алгоритму разработана и опробована на тесте программа на языке «Фортран»).

Будем считать, что информация считана с карты и введена в ЭВМ в виде равномерной сети точек с квантованием изображения на n уровней по яркости (т. е. выполнена обычная процедура ввода информации в ЭВМ устройствами такого типа). Обработка информации состоит из трех основных операций: 1) идентификации изолиний по яркости с целью выявления кодовой последовательности сигналов; 2) определении значений координаты z точек пересечения строки развертки с изолиниями; 3) построении регулярной сети точек со значениями z посредством интерполяции.

Идентификация изолиний по комбинации кодов яркости (названных нами выше сигналами 1, 2, 3) состоит в следующем. В результате считывания и ввода в ЭВМ изображения карты во всех местах пересечения строк развертки с изолиниями получится непрерывный ряд точек u_i со значениями кодов яркости, превышающими значения кодов точек фона. Код яркости, изолинии u_k , т. е. сигналы 1, 2, или 3, находятся как среднее значение кодов всех соседних точек u_i , принадлежащих данной изолинии,

$$\bar{u}_k = \frac{1}{n_k} \sum_{i=1}^{n_k} u_{ik}. \quad (\text{VI.9})$$

Затем полученные значения сигналов u_k сравниваются с тремя эталонными сигналами — областями значений кодов $\bar{u}_0 \div \bar{u}_1$, $\bar{u}_1 \div \bar{u}_2$ и $\bar{u}_2 \div \bar{u}_3$, установленными для трех уровней или оптических плотностей и принятых для кодирования изолиний. Эталонные области определяются заранее. Экстремумы их рассчитываются как средние значения соседних градаций u_1 , u_2 и u_3 , образующиеся при полном попадании развертывающего элемента на изолинию,

$$\bar{u}_0 = \frac{1}{2} (u'_0 + u'_1), \quad \bar{u}_1 = \frac{1}{2} (u'_1 + u'_2), \quad \bar{u}_2 = \frac{1}{2} (u'_2 + u'_3). \quad (\text{VI.10})$$

Код яркости изолинии может быть определен более точно другим способом. Он заключается в переборе групп соседних точек, принадлежащих изолинии в данной строке, и поиске точки с максимальным значением кода яркости. Значение найденной точки считается соответствующим коду яркости данной изолинии. Этот код затем идентифицируется путем сравнения с эталонными областями, как и в предыдущем случае.

Для надежной идентификации изолиний по трем эталонным сигналам необходимо, чтобы толщина изолиний была не меньше двойного полного попадания развертывающего элемента, а уровни яркости изолиний должны различаться в два раза и более.

Описанный принцип идентификации изолиний годится только для первого способа кодирования. Что касается второго способа, то в нем аналогичные функции выполняет трехканальное считывающее устройство. Вся дальнейшая процедура обработки на ЭВМ аналогична для обоих способов. Определение абсолютных значений изолиний по третьей пространственной координате начинается с левой или правой границы внутренней рамки карты, в зависимости от направления сканирования. Значение точки левой границы карты равно абсолютному значению координаты начальной точки z_0 на первой изолинии, вышедшей на границу. Координаты z_j начальных точек последующих строк

равны $z_0 + \delta \Delta z$, где δ — коэффициент, который в зависимости от вида перехода сигналов может иметь значения $+1$, -1 , 0 (при наличии полугоризонталей $\delta = \pm 0,5$). Характер изменения знака коэффициента как при переходе от одной изолинии к другой по одной строке, так и при переходе от одной строки к другой у начальных точек сканирования, один и тот же. Так, при переходах

$$\begin{array}{llll} 1 \rightarrow 2; & 2 \rightarrow 3; & 3 \rightarrow 1 & \delta = 1; \\ 3 \rightarrow 2; & 2 \rightarrow 1; & 1 \rightarrow 3 & \delta = -1; \\ 1 \rightarrow 1; & 2 \rightarrow 2; & 3 \rightarrow 3 & \delta = 0. \end{array}$$

Значение начальных точек после выхода на границу n -й по счету изолинии равно

$$z_j = z_0 + \sum_{k=1}^n \delta_k \Delta z. \quad (\text{VI.11})$$

Значение i -й точки пересечения изолинии со строкой определяется по формуле

$$z_{i,j} = z_j + \sum_{k=1}^i \delta_k \Delta z. \quad (\text{VI.12})$$

Интерполяция значений z для построения регулярной цифровой модели проводится после всех их определений в точках пересечения строк развертки с изолиниями. При линейной интерполяции вдоль j -й строки координата $Z_{k,j}$ в узле k , j с координатой $Y_{k,j}$ регулярной сетки определяется по формуле

$$Z_{k,j} = z_{i,j} + (z_{i+1,j} - z_{i,j}) \frac{Y_{k,j} - y_{i,j}}{y_{i+1,j} - y_{i,j}}, \quad (\text{VI.13})$$

где $z_{i,j}$, $y_{i,j}$ и $z_{i+1,j}$, $y_{i+1,j}$ — соответственно значения координат точек пересечения i , j и $i+1$, j строки развертки j с соседними изолиниями, между которыми находится узловая точка k , j . При построении сети нет необходимости частоту узловых точек задавать равной частоте строк. В зависимости от решаемой задачи расстояние между узловыми точками сети может быть произвольным, но кратным шагу развертки сканера.

Для получения более точной цифровой модели необходимо применить другой принцип интерполяции.

Необходимо отметить, что существуют различные способы преобразования карт изолиний в цифровую модель с помощью специализированных устройств и ЭВМ, основанные на принципе маркирования изолиний. Но все они обладают серьезными недостатками. Описанный в работе [25] способ маркирования изолиний применительно к разработанному действующему макету «Карта» состоит в вычерчивании изолиний в две вплотную идущие линии разного цвета (красная и черная). При этом не только нарушается традиционность изображения и уменьшается наглядность, но, что более существенно, снижается точность изображения. Способ, состоящий в нанесении соседних изоли-

ний двумя разными по цвету красками, имеет два серьезных недостатка: 1) снижается наглядность изображения, 2) требуется более сложная программная обработка на ЭВМ ввиду необходимости анализа изображения в двумерном пространстве [78]. Кроме этого, названные способы обладают еще одним общим недостатком — при их использовании не допускается наличие других изображений на карте, кроме собственно изолиний.

Рассмотренные способы имеют следующие достоинства и недостатки.

Эти способы, в особенности способ со скрытым оптическим кодом, позволяет создавать нормализованные карты изолиний, внешне не отличающиеся от традиционных. Благодаря тому что распознавание значений изолиний осуществляется в одномерном пространстве, достигается высокая оперативность при несложной программной обработке на ЭВМ или с помощью специализированного устройства.

Недостатком этих способов является лишь то, что несколько осложняется технология издания карт. Вместо одной печатной формы, требующейся обычно для печати изолиний, необходимы три такие формы. Печать остальных элементов карты не имеет отличий. Применение люминесценции практически не удорожает карту. Некоторое усложнение издания карт компенсируется тем экономическим эффектом, который достигается при полной автоматизации процесса построения цифровой модели по нормализованным картам изолиний.

Машинное чтение нормализованных карт изолиний специализированным устройством

Рассмотрим принцип чтения изолиний со скрытым оптическим кодом (по второму способу, изложенному в гл. IV.17) с помощью специализированного устройства [20].

На рис. 40, *а* представлена блок-схема читающего устройства. Устройство содержит блок развертки 1, выполненный в виде барабана. Сканирование осуществляется с помощью шаговых двигателей 2, 3 путем возвратно-поступательного движения барабана с картой, т. е. качанием барабана по оси y и перемещением считывающей головки вдоль барабана по оси x . При сплошном сканировании (т. е. считывании всей площади карты) перемещение считывающей головки осуществляется при крайних положениях барабана, иными словами, карта сканируется таким образом, что развертывающее пятно, осуществляя возвратно-поступательные движения, не выходит за пределы поля карты. Такое сканирование можно назвать непрерывным (рис. 40, *б*).

При попадании развертывающего пятна на изолинию блоком 4 осуществляется оптическое декодирование скрытого оп-

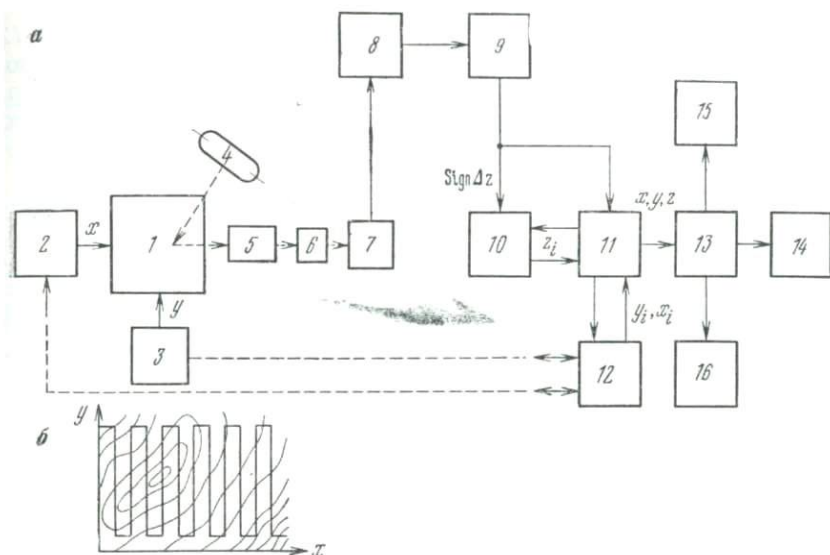


Рис. 40

тического кода с помощью ультрафиолетового облучателя и кварцевого конденсора. Возникающее при этом световое излучение поступает через объектив 5 и делительный узел 6 (дифракционную решетку) на приемник 7, состоящий из пяти фотоэлектронных умножителей.

В зависимости от сочетания изолиний с различными спектральными характеристиками люминесценции в их красочном составе на выходе считывающей головки возникают различные комбинации сигналов, которые далее поступают в блок формирования сигнала 8.

В блоке 8 по переднему фронту входного сигнала формируется импульс стандартной амплитуды и длительности, если $u_c \geq u_n$, а $t_c \geq t_n$, где u_c — амплитуда сигнала на входе, u_n — порог на амплитуде; t_c — длительность сигнала на уровне порога по амплитуде; t_n — порог по длительности. Причем длительность сформированного импульса в сотни раз меньше длительности входного сигнала. Это обеспечивает надежную работу устройства в случае касания изолиний и даже частичного их перекрытия (что возможно в местах сильного сгущения изолиний, например, балки, обрывы и т. п.).

Из блока 8 сигналы поступают на дешифратор 9 знака приращения. Один выход дешифратора подсоединен к блоку 10, осуществляющему формирование координаты z_i .

Второй выход дешифратора подсоединен к блоку 10, выполняющему запуск схемы опроса счетчиков координат x, y, z в блоках 10, 11.

После опроса значений z_i из блока 10 и x_i, y_i из блока 12 координаты через блок 11 поступают в буферное запоминающее устройство 13, к которому подсоединены три канала: первый для регистрации информации в цифровом виде с помощью устройств печати 15; второй (16) для регистрации в аналоговом виде; третий на ввод в ЭВМ.

Одним из основных блоков устройства является дешифратор 9.

Устройство обеспечивает дешифрирование трех-, четырех- или пятиспектрального кода. С точки зрения максимума информационной надежности оптимальной кодовой комбинацией следует считать пятиспектральную последовательность изолиний, выполненных красочными составами, содержащими люминоры с тремя различными спектральными характеристиками, например, составы серого цвета со свечением (под воздействием ультрафиолетового излучения) в сине-фиолетовой, желтой и красной областях спектра. Четвертая спектральная характеристика получается путем смешивания всех люминоров вместе. Такая кодовая комбинация обеспечивает дешифрирование знака приращения Δz_i при всех возможных последовательностях четырехспектральных изолиний.

При этом предусматривается возможность сформировать двойное приращение, когда очередная изолиния пропускается случайно либо намеренно в местах сильного сгущения изолиний (например, крутые скаты, балки, обрывы и т. д.). Заметим, что устройство позволяет считывать также трехспектральные последовательности, но с меньшей надежностью.

В заключение следует отметить некоторые отрицательные и положительные стороны разработанного устройства. Устройство пока обладает сравнительно невысокой скоростью сканирования. При большей частоте строк развертки требуется довольно много времени на считывание всей карты (например, при $d=0.1$ мм составит 10—20 мин), что объясняется особенностью работы шаговых двигателей. Однако последние обладают рядом ценных качеств, во-первых, обеспечивается свободное изменение шага сканирования с нижним пределом, составляющим 30 мкм, во-вторых, представляется возможным осуществлять программную развертку с управлением на ЭВМ. Это значит, что возможно осуществлять любые траектории движения развертывающего элемента по полю карты программным путем из машины. Проектируются дополнительные разработки с целью придания этому устройству более широких функций по считыванию картографической информации.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ КАРТОГРАФИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ (КАРТОМЕТРИЯ)

Автоматизация получения измерительной картографической информации входит в общую проблему машинного чтения карт. Получение измерительной информации в большинстве случаев не является конечной целью. Результаты измерений подвергаются последующей обработке. Так, результаты измерения длин рек используются, например, для построения карт густоты речной сети с целью геоморфологических и тектонических исследований, а определение объемов необходимо для исследования баланса вещества в природе или, например, для определения объема земляных работ при проектировании дорог и пр. Причем в последнее время такая обработка производится с применением ЭВМ. Это одно из важных обстоятельств, подсказывающих целесообразность проведения картометрических работ с помощью ЭВМ.

В данной главе рассматриваются способы автоматического получения измерительной картографической информации (определение длин линий, площадей, объемов тел и пр.) по несложным традиционным и нормализованным картам.

25. АВТОМАТИЧЕСКОЕ ИЗМЕРЕНИЕ ПЛОЩАДЕЙ И ПЕРИМЕТРОВ КОНТУРОВ

Известны различные типы устройств для измерения площадей и длин линий. В основном это планметры и курвиметры с механическим принципом работы. В последнее время появились такие приборы с полуавтоматическим режимом работы. Наиболее высокая степень автоматизации достигнута устройствами, у которых обвод заданного контура осуществляется следящей разверткой [28]. Однако эти устройства позволяют измерять автоматически только один заданный контур. Иными словами, автоматически измеряются только те контуры, которые указываются оператором, т. е. эти устройства не осуществляют без вмешательства человека массовое измерение контуров, что возможно только при автоматическом поиске каждого очередного контура. Массовое измерение контуров с указанием для каждого контура его площади и периметра является особенно часто встречающейся в практике задачей.

Следует отметить также сканирующие устройства, осуществляющие измерение площадей закрашенных контуров с ис-

пользованием специального маскирования, выполняемого вручную. Последнее обстоятельство не позволяет отнести их к автоматическим.

В данном параграфе описывается способ измерения площадей и периметров контуров полностью автоматически. Считывание изображения контуров производится сканирующими устройствами (построчной разверткой изображения). На считывающее устройство возлагаются только функции ввода информации в ЭВМ. Все остальные операции выполняет вычислительная машина [60].

Процесс измерения площадей и периметров контуров состоит из следующих основных этапов:

- 1) считывание изображения контуров и их ввод в ЭВМ;
- 2) отслеживание контуров, т. е. определение упорядоченной последовательности координат точек по каждому контуру;
- 3) определение по координатам площадей и периметров контуров;
- 4) выдача результатов обработки на АЦПУ в графическом и цифровом виде значений площадей и периметров суммарно и отдельно для каждого контура.

Рассмотрим принцип считывания и ввода в ЭВМ объектов, представленных на карте в виде темных граничных линий контуров на светлом фоне (см. рис. 22). Это, пожалуй, наиболее типичная форма представления контуров на карте.

Учитывая то, что данные контуры не имеют различий по яркости, их можно рассматривать как двухградационное изображение. Следовательно, квантования изображения на 64 уровня яркости не требуется, а поэтому оно сразу преобразовывается в двухградационное. Точкам, принадлежащим изображению, дается код (01), а точкам фона — (00). Плановое положение точек определяется порядковым номером строки и номером следования по строке.

В результате такого считывания в машину записываются (сначала в ОП, а затем на МНЛ) поразрядно и последовательно по строкам все точки как изображения, так и фона.

Перейдем ко второму этапу — отслеживанию контуров, связанному уже непосредственно с обработкой на ЭВМ. Алгоритм состоит из двух относительно самостоятельных частей — «зачернения» и «собственно отслеживания». Для дальнейшего дадим следующие кодовые обозначения. Точкам «зачернения» дадим код (11), а экстремальным (начальным) точкам контура — (10). В первой части «зачернения» происходит замена точек кода — (00), лежащих внутри контура, на код (11). Подробное описание алгоритма дано в работе [60].

Вторая часть алгоритма — собственно отслеживание — выполняется после полной обработки карты «зачернением». «Зачернение» нужно только для того, чтобы не допустить появления начальной точки на внутренней стороне контура (пред-

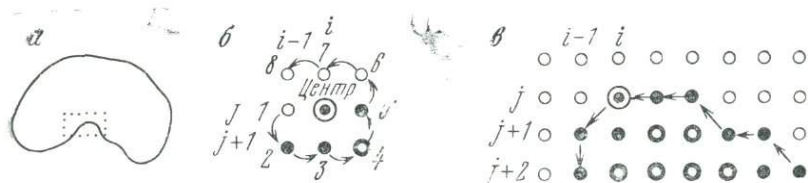


Рис. 41

полагается, что вообще контур имеет конечную толщину и может иметь форму, показанную на рис. 41, а).

Отслеживание начинается с поиска первой начальной точки. Как только координаты ее зафиксированы (пусть это будут i, j на рис. 41, б), то точка с координатами $i-1, j$ принимается за начальную, а с координатами i, j — за центральную, затем проверяются все точки в последовательности $1-2-3-4-5-6-7-8$, указанной на рис. 41, в. Как только попадаетея точка с кодом, отличным от (00), то эта точка ($i-1, j+1$) на рис. 41, б принимается за центральную, а предыдущая (i, j) за начальную, и снова совершается обход по схеме на рис. 41, в. Каждая вновь найденная точка (ее координаты по осям или номерам, что то же самое) записывается в память машины. Каждая точка сравнивается с первой начальной (i, j) (на рис. 41, б), при их совпадении в память машины записывается признак конца отслеживания (два последовательных нуля). Чтобы исключить многократный обход контура, каждая точка сравнивается с (10), и при совпадении код (10) заменяется на (01). После обхода очередного контура осуществляется просмотр карты по строкам слева направо, остановка происходит при выходе в нижнюю правую точку.

Рассмотрим третий этап — определение площадей и периметров раздельно для каждого контура.

Площадь контура можно легко определить по его координатам

$$S = \sum_{i=0}^{n-1} \left[(y_{i+1} - y_i) \frac{x_{i+1} + x_i}{2} \right], \quad (\text{VII.1})$$

где $y_{i+1}, y_i, x_{i+1}, x_i$ — прямоугольные координаты точек контура; n — количество точек по внешней стороне линии контура.

Периметр контура определяется по формуле

$$L = \sum_{i=0}^{n-1} \sqrt{(y_i - y_{i+1})^2 + (x_i - x_{i+1})^2}. \quad (\text{VII.2})$$

Определение суммарных значений площадей и периметров контуров осуществляется простым набором оператором у пульты машины номеров контуров, подлежащих суммированию.

Наконец, четвертый этап — выдача результатов обработки на АЦПУ.

Предварительные исследования точности измерения площадей показали, что средний процент погрешности составляет 0,1%. Точность определяется следующими факторами: 1) стабильностью работы сканирующего устройства, т. е. степенью отлаженности его механического и оптического узлов, электронного тракта; 2) величиной и точностью калибровки шага развертки и шага дискретизации по строке; 3) порогом разделения квантованных по точкам уровней яркости при преобразовании многоградационного представления информации (64 уровня) на двухградационное, т. е. на фон (код 00) и контурное изображение (код 01); 4) степенью колебания толщин линий контуров и их неоднородностью по яркости.

Как показали исследования, первый фактор не оказывает сколько-нибудь заметного влияния на точность измерения. Величина шага развертки и дискретизации по строке в 0,2 мм (что соответствует большинству считывающих аппаратов) вполне достаточна, если учесть, что графическая точность нанесения изображения при создании карты превышает эту величину. В этом случае цена деления составляет 0,04 мм². Ошибки, связанные с шагом дискретизации по строке и между строками, практически ничтожны, ими можно пренебречь (отклонение от заданного шага выражается несколькими микрометрами). Подробнее о точности дано в работе [60].

В заключение следует заметить, что наибольшая эффективность данного способа достигается при сплошном измерении контуров, компактно рассредоточенных в пределах небольшой по размерам карты.

Измерения по данному способу возможны только в стационарных условиях, поэтому не теряют своего значения такие простейшие портативные измерительные устройства, как планиметр и курвиметр, именно там, где применение ЭВМ не представляется возможным.

26. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИН ЛИНИЙ И ПЛОЩАДЕЙ КРИВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПО КАРТАМ ИЗОЛИНИЙ С ПОМОЩЬЮ СКАНИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ И ЭВМ

Определение длин линий и площадей на кривых поверхностях по картам изолиний относится к распространенным задачам, решаемым при различных исследованиях и при выполнении различных изыскательских работ. Особенно широко такого рода измерения проводятся по горизонталям топографических карт (например, определение площади топографической поверхности).

В данном параграфе рассматриваются способы определения указанных параметров с помощью сканирующих устройств и

ЭВМ по нормализованным картам. Принцип идентификации, т. е. машинного чтения изолиний, рассмотрен в гл. VI.24.

Определение длин линий на кривых поверхностях (длин линий профилей)

Рассмотрим случай, когда линия профиля на карте параллельна одной из осей прямоугольной системы координат.

Пусть истинная линия профиля CD лежит в плоскости Oyz и задана уравнением

$$z = f(y),$$

где $c \leq y \leq d$ (рис. 42).

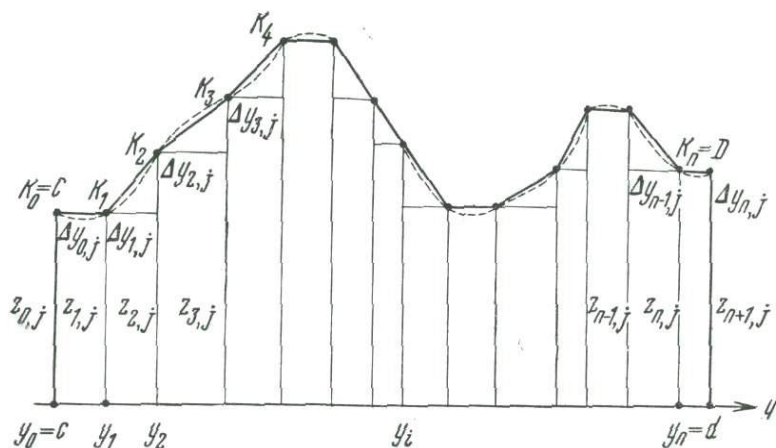


Рис. 42

На кривой CD точки $K_0=C, K_1, K_2, \dots, K_{n-1}, K_n=D$ соответствуют точкам пересечения луча сканирования (траектории движения разворачивающего элемента) с изолиниями. При этом точкам кривой отвечают значения y

$$y_0 = c < y_1 < y_2 < \dots < y_{n-1} < y_n = d. \quad (\text{VII.3})$$

Соединив последовательно точки кривой CD прямолинейными отрезками, получим некоторую ломаную линию, вписанную в дугу CD . Длину L'_j этой ломаной линии можно записать в следующем виде:

$$L'_j = \sum_{i=1}^n |K_{i-1}K_i|. \quad (\text{VII.4})$$

Поскольку $\Delta z = \text{const}$, то можно записать

$$L_j' = \sum_{i=1}^n \sqrt{(y_i - y_{i-1})^2 + \Delta z^2}. \quad (\text{VII.5})$$

Полученное значение L_j' является лишь приближением к истинной длине L_j дуги.

Если через точки K_1, \dots, K_n провести «гладкую» аппроксимирующую кривую, которая бы была близка к истинной, то тогда, очевидно, можно было бы дать предельно малый шаг, превышающий графическую точность карты. Необходимость аппроксимации чаще всего возникает для построения гладких профилей. В качестве аппроксимирующей кривой можно взять, например, параболу $z = ay^2 + by + c$ или кривую, определяющую полином более высокой степени. Через каждые три последовательные точки пересечения строки сканирования с изолиниями прово-

$$\left. \begin{array}{l} y_1 = y_i \\ z_1 = z_i \end{array} \right\} \left. \begin{array}{l} y_2 = y_{i+1} \\ z_2 = z_{i+1} \end{array} \right\} \left. \begin{array}{l} y_3 = y_{i+2} \\ z_3 = z_{i+2} \end{array} \right\} \quad (\text{VII.6})$$

дится парабола. Такая же парабола проводится через три точки, сдвинутые на одну точку,

$$\left. \begin{array}{l} y_2 = y_{i+1} \\ z_2 = z_{i+1} \end{array} \right\} \left. \begin{array}{l} y_3 = y_{i+2} \\ z_3 = z_{i+2} \end{array} \right\} \left. \begin{array}{l} y_4 = y_{i+3} \\ z_4 = z_{i+3} \end{array} \right\}. \quad (\text{VII.7})$$

На интервал между y_2 и y_3 приходятся две дуги — по первой параболе и по второй. Далее находятся длины дуг по одной и другой параболе, а затем их среднее арифметическое. Таким образом находятся дуги для всей кривой CD . Сумма средних арифметических значений дуг парабол даст более близкое к истинному значение длины всего профиля. Однако не для всякой поверхности подходит аппроксимирование параболками. Например, для рельефа под такую аппроксимацию больше всего подходят сглаженные формы типа старых складчатых гор. Учитывая это обстоятельство, оказывается, что для общего случая более приемлемым является определение длины по ломаной линии профиля.

Выше было рассмотрено определение длины линии профиля по направлению, параллельному одной из осей прямоугольных координат. Иногда возникает необходимость определить длину профиля по линии, занимающей произвольное положение на карте. В этом случае такую кривую следует рассматривать как пространственную. Исходя из вышесказанного и формулы (VII.5), длину произвольной (ломаной) кривой можно определить по формуле

$$L_j = \sum_{i=1}^n \sqrt{(y_i - y_{i-1})^2 + (x_i - x_{i-1})^2 + \Delta z^2}. \quad (\text{VII.8})$$

Траектория движения развертывающего элемента по заданному направлению линии профиля осуществляется с помощью шаговых двигателей считывающего устройства и ЭВМ.

Определение площадей кривых поверхностей

Ставится задача определить площадь кривой поверхности, представленной в виде изолиний и заданной на некоторой ограниченной области D_0 . Граница области может иметь различную конфигурацию. Рассмотрим случай, когда область ограничена прямоугольником (внутренней рамкой карты), т. е. сверху и снизу прямыми $y=c$ и $y=d$, а слева и справа $x=a$ и $x=b$ (рис. 43). Для определения площади поверхности, ограниченной областью D_0 , необходимо

осуществить сплошное сканирование всей области и ввод полученных данных в ЭВМ. В результате сканирования карты и идентификации значений изолиний получим множество взаимопараллельных профилей, на которых точки пересечения строк сканирования с изолиниями (со значениями пространственных координат x, y, z) расположены произвольно, а интервалы между профилями постоянны ($l = \Delta x = \text{const}$).

Таким образом, по линии профиля получается несколько произвольно расположенных точек, у которых все координаты x_j равны (поскольку они находятся на одной строке), координаты z_i таковы, что последующая отличается от предыдущей на $\pm \Delta z$, где Δz — шаг сечения, а координаты y_i произвольны. Заметим, что направление строк развертки не обязательно должно быть параллельно оси y , в отдельных случаях целесообразно оси x .

Такой принцип чтения карты изолиний дает возможность вычислять площадь кривой поверхности одновременно со сканированием по отдельным строкам. Для вычисления площади кривой поверхности по отдельным строкам следует определить приращения площади ΔS_j , ограниченной между двумя строками j и $j+1$, в момент между завершением прохождения по строке $j+1$ и началом строки $j+2$, а затем суммированием ΔS_j с целью получения площади всей искомой поверхности S .

Приращение площади ΔS_j после прохождения по строке

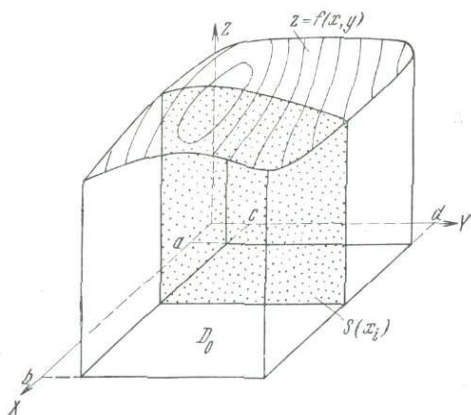


Рис. 43

$j+1$ по карте изолиний можно выразить следующей приближенной формулой:

$$\Delta S_j = 1/2 (L_j + L_{j+1}) \Delta x, \quad (\text{VII.9})$$

где $\Delta x = x_{j+1} - x_j = \frac{b-a}{m-1} = l$; m — количество строк сканирования в пределах от a до b ; $j=1, 2, 3, \dots, m$.

Необходимо заметить, что поскольку точки K_0 и K_n являются граничными точками области D_0 (см. рис. 42), значения которых по координате z неизвестны, то на отрезках K_0, K_1 и K_{n-1}, K_n значения Δz принимаются равными нулю, а следовательно,

$$z_0 = z_1 \text{ и } z_n = z_{n-1}.$$

На основании изложенного можно написать формулу для всей площади кривой поверхности

$$S = 1/2 \sum_{j=1}^m (L_j + L_{j+1}) \Delta x_j. \quad (\text{VII.10})$$

Данная формула применима для вычисления площади кривой поверхности с любой конфигурацией области D_0 .

При определении длин линий и площадью по картам мелкого и среднего масштабов необходимо учитывать искажения за разномасштабность в соответствии с той или иной проекцией. Вопрос введения поправок в результаты измерения за разномасштабность карты рассматривался во многих работах и особенно подробно в работе [11]. Однако в [11] эти вопросы рассмотрены применительно к простейшим средствам измерения — планиметру и циркулю-измерителю. Способы измерения простейшими средствами и сканирующими устройствами и ЭВМ имеют определенные различия. Следует рассмотреть особенности учета искажений за разномасштабность в соответствующих проекциях. Рассмотрим это на примере двух проекций: равноугольной цилиндрической проекции Меркатора и равноугольной поперечно-цилиндрической проекции Гаусса—Крюгера.

Как известно, масштаб площади P_s , равный квадрату линейного масштаба в проекции Меркатора, определяется формулой

$$P_s = m^2 = \sec^2 \varphi, \quad (\text{VII.11})$$

где φ — широта места.

В этой проекции общий масштаб сохраняется только на экваторе. Так как величина масштаба является функцией только широты, то на протяжении любой из параллелей масштаб одинаков. Эта особенность проекции подсказывает, что сканирование карты целесообразно проводить параллельно параллелям. Разумеется, что на картах мелкого масштаба, имеющих параллели в виде дуг, не представляется возможным осуществить

сканирование параллельно параллелям, при котором строки, как правило, прямолинейны. Однако эта непараллельность не скажется существенно на точности определения площади. Ввиду компенсации ошибок практически можно допустить, что масштаб площади в пределах узкой полоски между двумя строками, ограничивающими площадку ΔS_j , остается постоянным.

Для того чтобы учесть разномасштабность при определении площади, необходимо предварительно зафиксировать широту φ верхней точки границы области определения (с которой начинается сканирование) и приращение $\Delta\varphi$, соответствующее шагу развертки. После чего можно вычислить исправленное значение $\Delta S_j^{(0)}$ по формуле

$$\Delta S_j^{(0)} = \frac{\Delta S_j}{\sec^2(\varphi - j\Delta\varphi)}, \quad (\text{VII.12})$$

где j — номер строки сканирования.

Формула (VII.12) дана для трапеций, лежащих выше экватора, а для трапеций, лежащих ниже экватора, в знаменателе должно быть следующее выражение:

$$\sec^2(\varphi + j\Delta\varphi).$$

При определении площадей по картам, представленным в равноугольной поперечно-цилиндрической проекции Гаусса—Крюгера, направление строк сканирования карты целесообразно давать параллельно оси x , так как в этой проекции постоянство масштабов сохраняется вдоль линий, параллельных осевому меридиану. По такому же принципу, как и для проекции Меркатора, находится исправленное значение в приращении площади ΔS_j . Учитывая формулу из работы [11], можно записать

$$\Delta S_j^{(0)} = \frac{\Delta S_j}{\left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{y + \Delta y \cdot j}{R}\right)^2\right]^2}, \quad (\text{VII.13})$$

где Δy — шаг развертки сканера; R — радиус земного шара; y — координата верхней точки области определения D_0 .

По предложенной методике разработанная программа на языке «Фортран-IV» и опробована на тесте.

27. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМОВ ПО КАРТАМ ИЗОЛИНИИ С ПОМОЩЬЮ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО СКАНИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА И ЭВМ

В данной главе рассматривается способ автоматического определения объемов, представленных на картах в виде нормализованного изображения изолиний [69]. Способы построения

нормализованных карт изолиний и их машинное чтение изложены в работе [66].

Определение объемов по картам изолиний является часто встречающейся задачей. К наиболее типичным задачам такого рода можно отнести: определение объемов ледников (например, ледников гор, льдов материков, таких как Гренландия, Антарктида и пр.); определение объемов осадков на определенную территорию (например, для подсчета запасов воды); определение объемов отдельных форм рельефа (например, котловин озера или океанов, отдельных возвышений); определение объемов запасов полезных ископаемых и т. п.

Рассмотрим два способа определения объема по картам изолиний с помощью сканирующих устройств и ЭВМ:

- посредством горизонтальных плоскостей сечения;
- посредством вертикальных плоскостей сечения.

Любая поверхность, изображаемая изолиниями, представляет собой непрерывную функцию $f(x, y)$ в замкнутой области D_0 , ограниченной внутренней рамкой карты или внешней границей произвольного вида, когда отображаемое явление имеет сплошной характер распространения. Однако изолинии сами по себе относятся к непрерывно-дискретному способу отображения, у которых горизонтальное сечение $\Delta z = \text{const}$ (за небольшим исключением), а площадь сечения $S(z_i)$ имеет произвольную форму. В простейшем случае приближенное значение объема V можно представить следующим выражением:

$$V \approx \sum_{i=1}^n S(z_i) \Delta z_i, \quad (\text{VII.14})$$

где z_i — некоторая точка между сечениями, удаленными друг от друга на Δz_i ; $i=1, 2, 3, \dots, n$.

Для повышения точности определения необходимо аппроксимировать поверхность, представленную изолиниями, преобразовав ее в непрерывный вид (x, y) . Если в этом случае принять $n \rightarrow \infty$, причем $|\Delta z_i| \rightarrow 0$, тогда равенство (VII.14) будет по определению объема более точным:

$$V' = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n S(z_i) \Delta z_i. \quad (\text{VII.15})$$

Однако аппроксимация поверхности является довольно трудной задачей и в данном случае вряд ли целесообразной.

Достаточно точное значение объема при сравнительно несложной процедуре обработки можно получить по формуле

$$V \approx \frac{1}{2} \sum_{i=0}^n [S(z_{i-1}) + S(z_i)] \Delta z_i, \quad (\text{VII.16})$$

где $i=0, 1, 2, 3, \dots, n$; n — количество сечений.

Математически подобный подход к определению объема (правда, с применением простейших средств измерения) известен давно [11]. Однако автоматическое определение объема с применением сканирующих устройств имеет особенности.

Определение площади сечения $S(z_i)$, которая может быть ограничена следом одной или несколькими изолиниями одинакового значения, требует от машины выполнения ряда сложных операций. Прежде всего машина должна выделить (отсементировать) все точки пересечения строк сканирования с изолиниями по их значениям и относящиеся (точки) к одноименным изолиниям, а затем осуществить их отслеживание, т. е. привести их координаты в упорядоченную последовательность. После чего по упорядоченным координатам следует вычислить площади этих сечений. Если площадь сечения не полностью ограничена следом изолинии (вследствие выхода изолинии за пределы области), то она определяется по границе области D_0 . Площадь, соответствующая z_0 , принимается равной площади области D_0 , а площадь $S(z_{n+1})$ — равной нулю (как несуществующее сечение).

Исходя из этого и учитывая, что в результате построчного считывания и машинного отслеживания контуров карты все точки контуров располагаются равномерно по направлению осей координат, т. е. $d = \Delta x = \Delta y = \text{const}$, где d — шаг развертки сканера, то для определения площади контура можно воспользоваться рабочей формулой (VII.1).

Определив таким образом площади каждого сечения раздельно, нетрудно по формуле (VII.16) вычислить объем.

Рассмотрим теперь принцип определения объемов вертикальными плоскостями сечения.

Для случая когда рассматривается крупномасштабная карта, у которой область D ограничена прямоугольником, т. е. сверху и снизу ограничена прямыми $y=c$ и $y=d$, а слева и справа $x=a$ и $x=b$ и при этом непрерывная функция $f(x, y) \geq 0$ всюду в области D , то объем будет

$$V = \iint_D f(x, y) dx dy = \int_a^b dx \int_c^d f(x, y) dy. \quad (\text{VII.17})$$

Из этого следует, что основная измерительная задача сводится к определению площади $S(x)$ вертикального сечения плоскостью $x = \text{const}$, $S(x) = \int_c^d f(x, y) dy$ (см. рис. 43). Заметим, что в этом способе, в отличие от предыдущего, определение площади вертикального сечения значительно проще, так как здесь имели дело всего лишь с криволинейной трапецией. Благодаря тому, что идентификация изолиний производится в одномерном пространстве (т. е. по одной строке развертки),

представляется возможным вычислять объем в ЭВМ одновременно с вводом. Рассмотрим это более подробно.

Принцип машинного чтения нормализованной карты изолиний дает возможность вычислять объем одновременно со сканированием по отдельным строкам. Под вычислением объема по отдельным строкам понимается определение приращения объема ΔV_j при прохождении по карте изолиний одной строкой. Суммировав ΔV_j , получают искомый объем V .

Приращение объема ΔV_j при прохождении одной строкой по карте изолиний можно представить следующей формулой:

$$\Delta V_j \approx \Delta x S(x_j), \quad (\text{VII.18})$$

где $\Delta x = x_{j+1} - x_j = \frac{b-a}{m} = l$; m — количество строк сканирования в пределах от a до b ; $j = 1, 2, 3, \dots, m$;

$$S(x_j) \approx \Delta y_{0,j} z_{0,j} + \Delta y_{1,j} \frac{1}{2} (z_{1,j} + z_{2,j}) + \dots + \\ + \Delta y_{n-1,j} \frac{1}{2} (z_{n-1,j} + z_{n,j}) + \Delta y_{n,j} z_{n+1,j}, \quad (\text{VII.19})$$

где n — количество точек пересечения луча сканирования (развертывающего элемента) с изолиниями в пределах одной строки; $z_{0,j}$ и $z_{n+1,j}$ — значения в точках пересечения луча сканирования с границей области D , которые принимаются равными значениям соответственно $z_{1,j}$ и $z_{n,j}$ (см. рис. 42). На основании изложенного можно написать формулу для всего объема

$$V \approx \sum_{j=0}^m \sum_{i=0}^n \Delta x \left[\Delta y_{i,j} \frac{1}{2} (z_{i-1,j} + z_{i,j}) \right], \quad (\text{VII.20})$$

где $i = 0, 1, 2, 3, \dots, n$.

Данная формула применима для вычисления объема с любой конфигурацией области D .

Рассмотрим определение объема пространственного тела. Определение объемов тел является довольно часто встречающейся задачей при проведении исследований во многих областях наук о Земле и особенно в геологии, когда по изолиниям кровли и подошвы геологического тела требуется определить его объем.

Наиболее оперативный путь определения объема тела состоит в построчной обработке информации сразу двух карт. В сканирующем устройстве последовательно (по ходу сканирования) закрепляется карта изолиний кровли, а затем изолиний подошвы, при этом начало координат по оси x обеих карт точно совмещаются, а по y они раздвигаются произвольно, но параллельно.

При прохождении каждой строкой по обеим картам сразу же в процессе сканирования определяется приращение объема тела, затем — их сумма по следующей формуле:

$$V \approx \sum_{j=1}^m \Delta x [S^{(k)}(x_j) - S^{(n)}(x_j)], \quad (\text{VII.21})$$

где $S^{(k)}(x_j)$ и $S^{(n)}(x_j)$ — площади вертикальных сечений условных тел по строкам соответственно для кровли и подошвы.

Одновременно обработка двух карт последовательно по строкам возможна с помощью специализированного сканирующего устройства. При использовании сканирующих устройств универсального типа такой прием измерения может оказаться затруднительным. В этом случае рекомендуется следующая методика. Вначале в ЭВМ определяется условный объем $V^{(k)}$ по карте изолиний кровли по формуле (VII.20), затем таким же образом по аналогичной формуле находится условный объем $V^{(n)}$ по карте изолиний подошвы. Окончательно искомый объем определяется по разности условных объемов

$$V = V^{(k)} - V^{(n)}. \quad (\text{VII.22})$$

В заключение следует отметить, что процедура определения объема по нормализованным картам изолиний с помощью ЭВМ и сканирующих устройств проще и оперативнее по способу, основывающемуся на вертикальных плоскостях сечения, так как в этом случае вычисление объема может производиться одновременно со считыванием, что более эффективно и экономично.

НЕКОТОРЫЕ СПОСОБЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ И АНАЛИЗА КАРТОГРАФИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ПРИРОДНЫХ И СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ

Цель этой главы — показать возможности полной автоматизации процессов научных исследований по картам.

Особенности преобразования и анализа картографической информации и эффективность ее машинной обработки рассматриваются на примере нескольких способов корреляционного анализа и способов построения различных типов производных карт.

В данной главе затрагивается лишь незначительная часть тех вопросов, которые могут эффективно решаться по картам автоматическими средствами. Этот вопрос, а правильное сказать проблема, столь обширна, значительна и многогранна, что для ее рассмотрения необходима специальная монография. В этой связи рассмотрим эту проблему только в той степени, чтобы можно было получить необходимое представление о возможностях машинного преобразования и анализа карт как одного из новых и многообещающих методов исследования природных и социально-экономических объектов и явлений.

Необходимо отметить, что вообще, по процессу анализа карт известно немало разработок. Однако пока не известны разработки, в которых бы решался вопрос полной автоматизации процессов исследования по традиционным картам (включая ее чтение).

Трудности в осуществлении автоматического анализа по традиционным картам состоят не только в том, что информация традиционных карт сложна для распознавания ее в ЭВМ, но и в том, что информация имеет не только количественные, но и качественные характеристики. На картах такую информацию обычно представляют ограниченными связными областями с качественной характеристикой явлений (например, на геологических картах стратиграфическая характеристика пород, характеристика по их химическому составу или литологии). Иногда такие карты имеют дополнительно количественную характеристику (например, глубина залегания пород). Вместе с тем применяется цифровой или изолинейный способ представления количественной информации (например в геофизике). Такое разнообразие форм представления информации вызывает немалые трудности в решении вопроса ее совместной автоматической об-

работки при проведении научных исследований. В этой связи возникла задача поиска некоторых новых способов анализа с применением считывающих устройств и ЭВМ, которые предлагаются в данной главе.

28. КАРТОГРАФИЧЕСКИЕ ФОРМАЛИЗОВАННЫЕ ОПИСАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ПРИРОДНЫХ И СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ СКАНИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ И ЭВМ

Исследование природных и социально-экономических явлений может быть наиболее эффективным при интегральном анализе рассеянных объектов посредством различных картографических методов формализованного их описания. К таким картографическим описаниям можно отнести:

— построение изолиний или растров, описывающих плотность распределения объектов по их площади;

— построение изолиний или растров, описывающих плотность распределения объектов по их протяженности;

— построение изолиний или растров, описывающих плотность распределения объектов по степени их разветвленности или изрезанности;

— построение изолиний или растров, описывающих статистическую плотность распределения объектов;

— построение роз-диаграмм, описывающих направленность объектов;

— построение роз-диаграмм или изолиний, описывающих степень вытянутости объектов;

— построение изолиний или растров, описывающих плотность распределения объектов по степени их извилистости.

Возможны и другие формализованные описания объектов, в том числе описания в виде сложных функций от нескольких переменных.

Совершенно очевидно, что при наличии таких формализованных картографических описаний представляется возможность достаточно достоверно и всесторонне оценить процессы развития объектов и произвести всевозможные исследования.

Построение производных карт, формализованно описывающих распределение объектов, имеет двоякую цель, с одной стороны, для преобразования информации в более удобный вид при последующем анализе карт визуально и автоматическими средствами, с другой стороны, для получения новых качественных и количественных характеристик о тех или иных свойствах явлений или объектов, производных от исходной информации. Последняя может быть представлена на одной или на нескольких картах. Целесообразно, чтобы форма отображения инфор-

мации на производных картах была представлена в виде нормализованных систем растров или кодированных изолиний.

Совместный анализ карт различного содержания, представленных в единой растровой или изолинейной форме, позволит сравнительно легко проводить, например, корреляционный анализ как визуально по $\cos \alpha$ между направлениями скатов по изолиниям [38], так и автоматически при одновременном анализе двух карт и более с помощью специализированного считывающего устройства и ЭВМ.

Построение карт площадной плотности дисперсных объектов

Рассмотрим принцип считывания картографической информации о дисперсных объектах и построения карт плотности дифференцированным и интегральным способами на примере карт речной сети [62]. Основная задача сводится к определению элементов z_{ij} матрицы z площадной плотности речной сети.

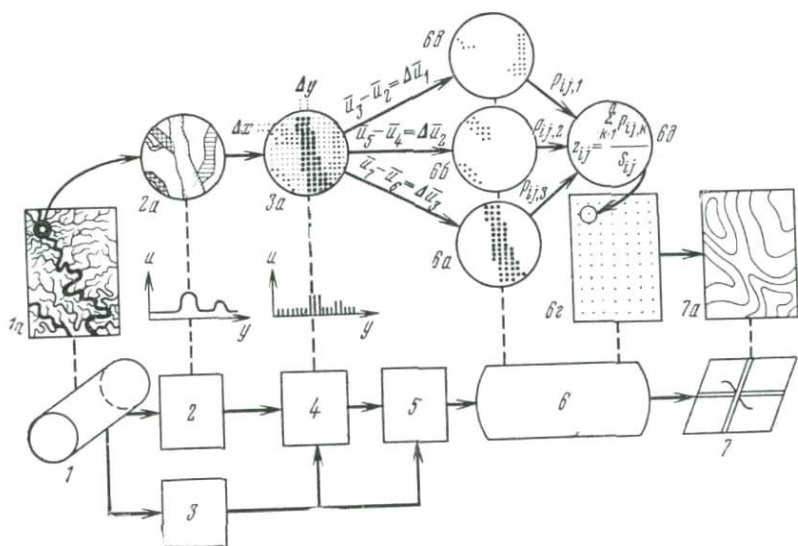


Рис. 44

На рис. 44 показана схема считывания и преобразования информации при составлении карты площадной плотности дифференцированным способом. Информация на исходной карте 1а отображена по вышеописанной методике (см. гл. II.12). Карта 1а сканируется блоком построичной развертки 1 и считывается фотоэлектронной головкой 2, имеющей малый развертывающий элемент $\Delta r \approx 0,02 \div 0,04 \text{ мм}^2$ (рис. 45). На выходе блока 2 (см. рис. 44) образуются сигналы по напряжению различ-

ной амплитуды u_1, u_2, \dots, u_3 (рис. 45, б). Последние с помощью генератора синхроимпульсов 3 и аналого-цифрового преобразователя 4 преобразуются в серию равноотстоящих импульсов с амплитудами, соответствующими принятому уровню квантования (рис. 45, в). Для наглядности на рис. 44 показан плановый вид фрагмента карты 3а после преобразования. Очевидно, что уровни квантования и их количество должны быть в оптимальном соответствии с градиентами яркости изображения на карте. Информация, преобразованная на выходе блока 5 в цифровой (двоичный код), поступает в блок сопряжения 5 и затем в вычислительную машину 6. В оперативную память машины ЭВМ записываются плановые координаты в виде порядковых номеров точек (включая точки фона) и значений квантованных

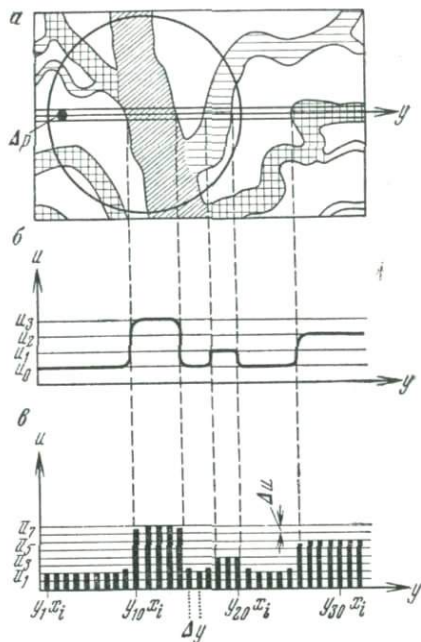


Рис. 45

уровней яркостей для каждой точки (см. рис. 45, в). На этом процедуре считывания карты и ввода в ЭВМ заканчивается. Далее начинается машинная обработка записанной информации с целью построения производной карты площадной плотности. Процедура обработки состоит из следующих операций:

1. Селекция точек по уровням квантования $\bar{u}_0, \bar{u}_1, \bar{u}_2, \dots, \bar{u}_n$ в соответствии с принятыми градиентами на карте (на рис. 44: 6а, 6б, 6в и на рис. 45 в).

2. Подсчет количества точек $N_{ij,k}$ и затем определение площади p_{ij} отдельно по каждой градиции по формулам

$$p_{ij,1} = \frac{1}{K'_1} N_{ij,1} \Delta x \cdot \Delta y, \quad p_{ij,2} = \frac{1}{K'_2} N_{ij,2} \Delta x \cdot \Delta y, \quad \dots, \quad p_{ij,n} = N_{ij,n} \Delta x \cdot \Delta y, \quad (\text{VIII.1})$$

где Δx — расстояние между точками по оси x , которое равно шагу развертки d ; Δy — расстояние между точками по оси y , которое равно шагу дискретизации задаваемого генератором импульсов.

3. Определение суммарной площади $\sum_{k=1}^n p_{ij,k} = p_{ij,1} + p_{ij,2} + \dots +$

+ $p_{ij,n}$, занимаемой линейными объектами, в пределах площадки S_{ij} .

4. Определение значений элементов площадной плотности

$$z_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n p_{ij,k}}{S_{ij}}$$
 и отнесение этого значения к точке центра площадки S_{ij} .

5. Линейная интерполяция по значению z_{ij} в точках центров площадок и регистрация результатов на графопринтере 7 в виде карты изолиний 7а. Точки центров площадок берутся регулярно (6г). Целесообразно давать перекрытие площадок.

Регистрация результата может производиться и на АЦПУ. В этом случае зоны одинаковых значений запечатываются соответствующими знаками, подобранными по заранее составленной шкале. Шкала градаций по z_{ij} может быть представлена в процентном соотношении. Рассмотрим способ считывания и составления производных карт площадной плотности интегральным способом. На рис. 46 показана схема считывания и преобразования информации при составлении карты площадной плотности интегральным способом. Исходная карта 1а сканируется

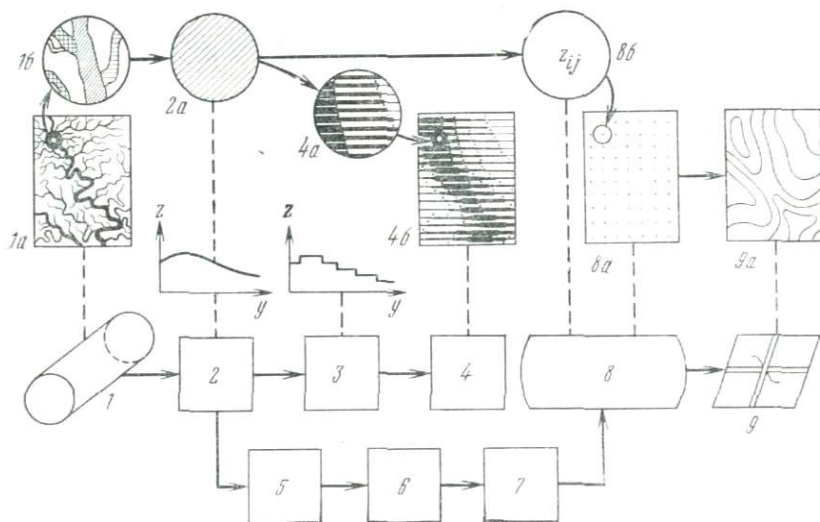


Рис. 46

блоком развертки 1 с фотоэлектронной считывающей головкой 2, имеющей большой развертывающий элемент. Размер развертывающего элемента может изменяться в достаточно широких пределах. Это достигается с помощью поля зрения объектива приемника.

Объектив обеспечивает изменение площади поля изображения в пределах от нескольких мм² до нескольких см² на карте. Размер поля устанавливается заранее, в зависимости от плотности объектов на карте, масштаба карты и ее назначения. На рис. 46 показан фрагмент карты 1б, охватываемый полем зрения объектива. Объектив работает в расфокусированном режиме, обеспечивая только передачу световой энергии с карты на фотокатод светочувствительного элемента 2а. В процессе скакирования на выходе блока 2 возникает непрерывный сигнал, изменяющийся по напряжению (рис. 47,б). Изменение амплитуды кривой $z_{x_i}(y)$ характеризует плотность линейных объектов в пределах площадки при ее «скольжении» вдоль строки развертки (рис. 47,а). Блок 2 может иметь на выходе два канала. По одному каналу информация поступает в блок 3 (многоуровневый амплитудный дискриминатор), осуществляющий квантование непрерывного сигнала по амплитуде. Квантование производится в соответствии с установленной шкалой градаций по z_{ij} (рис. 47, в). Квантованный сигнал $z_{x_i}(y)$ поступает на специализированный регистрирующий блок 4. Блок 4 может регистрировать изображение в виде раstra 4а, 4б или в виде точечных изолиний.

Второй канал блока 2 (см. рис. 46) связан с ЭВМ 8 посредством блока прерывания сигнала 5, преобразователя аналога-кода 6 и блока сопряжения 7. В ЭВМ поступают готовые значения z_{ij} в цифровом виде (8б, 8а). На машину возлагается только одна операция — интерполяция для построения изолиний 9а, которые вычерчиваются графопостроителем 9 (второй канал используется при отсутствии первого). Рассмотренные способы считывания и преобразования могут быть применены не

только для информации, отображенной по-новому, но и для традиционных изображений, с той лишь разницей, что результаты преобразования будут грубее, чем по нормализованным картам. Принцип построения карт площадной плотности может быть использован и для объектов, представленных в виде залитых контуров.

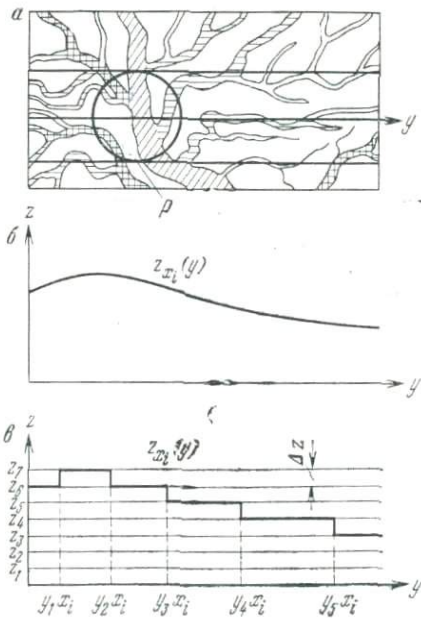


Рис. 47

Построение производных карт плотности линейных объектов (карт градиента, густоты речной сети, густоты геологических трещин, разломов и пр.)

Задача способа состоит в описании распределения плотности линий изображения по их суммарной протяженности и представления ее в виде изолиний, линий растров разной частоты и толщины, в цифровом виде и пр. Под плотностью линейных объектов некоторой площадки понимается отношение суммарной протяженности всех выделенных в пределах площадки линии к площади этой площадки [61].

Весь процесс автоматического составления карты состоит из следующих основных операций:

1. Считывание заданной линейной информации с исходной карты специализированным фотоэлектронным устройством и ввод ее в ЭВМ.

2. Обработка введенной информации в ЭВМ с целью получения равномерной сети точек (элементы матрицы P) со значениями плотности линий по суммарной протяженности P_{ij} .

3. Графическая или цифровая регистрация производной карты на выходе ЭВМ в виде линейного растра или изолиний.

Первая операция выполняется тем же считывающим устройством и по такому же принципу, как это изложено в гл. IV.17.

Вторая операция, связанная с обработкой информации в ЭВМ, включает решение следующих задач:

1. Определение оптимальных размеров, формы и взаимного пространственного положения площадок.

2. Определение приближенного коэффициента генерализации при составлении обрабатываемой карты.

3. Вычисление значений плотности P_{ij} по каждой площадке и отнесение их к центрам последних.

При решении первой задачи в основном исходят из условия минимальных затрат машинного времени на обработку и обеспечение требований точности к описанию плотности линий

Выбор оптимального размера площадки представляется довольно трудной задачей. Чем больше площадь площадки S_{ij} , тем более обобщенными будут границы областей, характеризующих ту или иную плотность, и тем меньше затрат машинного времени на обработку. Ясно также и то, что перекрывающиеся площадки достовернее передадут информацию, чем контактирующие или с интервалом. Чем больше перекрытие, тем точнее описание, но, вместе с тем, больше затрат машинного времени на обработку. Вообще, размер площадки следует рассчитывать в каждом конкретном случае отдельно, ориентируясь главным образом на масштаб составляемой карты и степень дисперсности объектов исходной карты. Очевидно, чем мельче масштаб производной карты и чем разреженнее объекты, тем больше

должна быть площадь площадки (имеется в виду в масштабе карты).

Если линии на карте имеют такую разреженность, при которой возникают нулевые значения плотности P_{ij} в пределах принятой площадки, размеры последних должны быть изменены в соответствии со степенью разреженности линейных объектов.

Для этого нужно определить диаметр окружности, вписывающейся в промежутки между линейными объектами, принадлежащими области с максимальной разреженностью, а затем этот диаметр возвести в квадрат, приняв полученное значение равным площади площадки S_{ij} . Форму площадки целесообразно брать в виде квадрата, так как при используемом виде представления считанной информации в МОЗУ обеспечиваются наибольшее быстродействие и простота обработки. По этим же соображениям размеры площадок и степени их взаимного перекрытия целесообразно давать одинаковыми. Степень перекрытия площадок следует давать не более 50%, так как дальнейшее увеличение процента перекрытия площадок не приводит к сколько-нибудь

заметному повышению точности описания плотности, при этом заметно увеличивается машинное время на обработку. Принцип выбора площадки одинаково относится и ко всем способам, изложенным в предыдущем и последующем параграфах.

Определить коэффициент генерализации можно с помощью карт крупных масштабов, на которых линейные объекты даны с минимальной степенью обобщения. Для решения этой задачи может быть использована как аналог одна крупномасштабная карта. На этой карте выделяется область, соответствующая границам принятой площадки, затем она считывается, вводится в ЭВМ и осуществляется обработка. Обработка состоит в проведении построчной развертки выделенной области по памяти машины в двух направлениях: по оси X (рис. 48, а) и по оси Y (рис. 48, б), при этом подсчитывается количество «точек встреч» n'_x и n'_y строк развертки с линиями изображения соот-

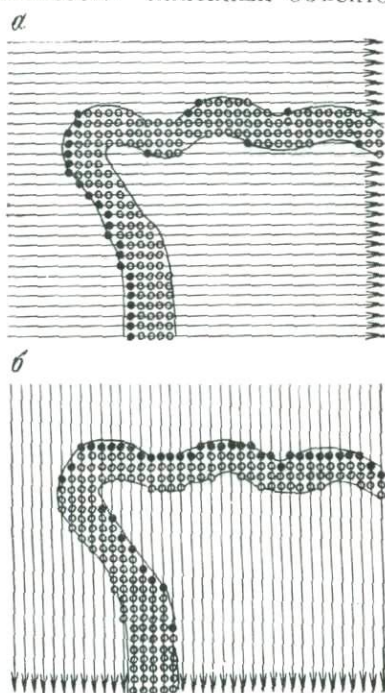


Рис. 48

ветственно осям координат. На рис. 48 «точки встречи» показаны залитыми кружочками.

Аналогичная процедура производится на исходной карте более мелкого масштаба, также находятся значения n_x и n_y идентичной области, затем рассчитывается коэффициент генерализации по формуле

$$q = \frac{n'_x + n'_y}{m(n_x + n_y)}, \quad (\text{VIII.2})$$

где m — масштабный коэффициент.

Вычисление значений элементов P_{ij} матрицы P для каждой площадки обрабатываемой (исходной) карты производится по следующей формуле*:

$$P_{ij} = \frac{\pi q d}{4S_{ij}} (n_{x_j} + n_{y_i}), \quad (\text{VIII.3})$$

где d — шаг развертки сканера; S_{ij} — площадь площадки; n_{x_j} и n_{y_i} — количество точек, полученных при встрече строк развертки с изображением в пределах площадки.

Если в считывающем устройстве шаг дискретизации по оси X отличается от шага по оси Y , то расчет производится по следующей формуле:

$$P_{ij} = \frac{\pi q}{4S_{ij}} (d_x n_{x_j} + d_y n_{y_i}), \quad (\text{VIII.4})$$

где d_x и d_y — шаги дискретизации соответственно по осям x и y .

Полученные значения P_{ij} относятся к центрам всех площадок. В результате создается равномерная сеть точек матрицы P с численными значениями плотности и ее элементов P_{ij} .

Наконец, последняя операция — вывод результатов преобразования из ЭВМ — является в определенной степени известной, например, представление информации в цифровом виде, изолиний на графопостроителе и на алфавитно-цифровом печатающем устройстве (АЦПУ). При небольшом количестве ступеней шкалы плотностей (примерно до 10) целесообразно отображать информацию в виде растров различной частоты и толщины. Построение растровых карт значительно проще, чем изолинейных, кроме того, их вид представления более наглядный.

В проведенных опытах в качестве регистрирующего устройства на выходе ЭВМ в основном использовалось АЦПУ.

Следует заметить, что преобразование линейных объектов по предлагаемому способу не обязательно завершается созда-

* В основу приведенной формулы положена известная идея «падающей иглы» Ж. Бюффона (1777 г.). Эта идея ранее использовалась для определения линий И. В. Бусолаевым (1964 г.) и с привлечением сканирующих устройств С. И. Пурсаковым (1969, 1970 гг.).

нием производной карты. Для проведения исследовательских работ (например, корреляций) с помощью ЭВМ необходимы только цифровые данные о плотности линейных объектов по равномерной сети точек.

Основываясь на проведенных опытах, можно сделать следующие выводы:

1. Способ позволяет полностью автоматизировать процесс составления, начиная с ввода исходной карты в машину и кончая получением готовой производной карты на выходе ЭВМ.

2. Карта составляется с высокой оперативностью, весь процесс, включая считывание исходной карты и построение производной карты, составляет несколько десятков минут.

3. Степень генерализации может варьировать в широких пределах по желанию составителя-оператора (за счет свободно изменения размера площадок).

4. Способ может найти довольно широкое применение в геологии, гидрологии и др.

Построение производных карт плотности распределения объектов по степени их разветвленности и карт, характеризующих степень направленности и вытянутости объектов (на примере овражной сети)

Одной из важных характеристик овражной сети, по которой можно судить о степени эрозии (наряду с описанием их плотности распределения по площади и по протяженности), является степень разветвленности, или изрезанности оврагов. Для построения изолиний, характеризующих эту особенность овражной сети, всю картографируемую территорию разбивают на равные площадки в виде квадратов или трапеций, а затем в пределах каждого квадрата находят значение элемента q_{ij} матрицы Q , характеризующей степень разветвленности, по следующей формуле:

$$q = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \frac{L_k^2}{s_k}, \quad (\text{VIII.5})$$

где L_k — периметр k -го оврага; s_k — площадь k -го оврага; n — количество оврагов ($k=1, 2, 3, \dots, n$). Полученные значения относятся к центрам площадок. По этим значениям затем производится интерполирование и вычерчивание изолиний.

Процедура машинного нахождения периметра и площади осуществляется по способу, изложенному в гл. VII.25.

Для картографического описания степени вытянутости и направленности овражной сети рекомендуется следующая методика.

Все связанные точки выделенного подмножества (точки, покрывающие овраг) рассматриваются как случайное поле точек,

подчиняющееся двумерному нормальному закону распределения,

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_1\sigma_2} e^{-\frac{1}{2} \left[\frac{(x-a)^2}{\sigma_1^2} + \frac{(y-b)^2}{\sigma_2^2} \right]}. \quad (\text{VIII.6})$$

Находятся параметры аппроксимирующего овраг эллипса рассеяния (a , b , θ , ϵ), где a , b — полуоси эллипса; θ — угол наклона большой оси эллипса к оси абсцисс; ϵ — эксцентриситет.

Степень вытянутости оврага можно выразить формулой

$$\epsilon' = \frac{a}{b} - 1. \quad (\text{VIII.7})$$

Направленность оврага определяется углом θ .

При наличии таких данных построение роз-диаграмм сводится к нахождению значений $\sum_{i=1}^n \epsilon'$, попадающих в дискретно заданные значения углов роз-диаграмм в соответствии с заданным направлением и затем откладыванию полученных суммарных значений по этим направлениям.

Для определения параметров эллипса рассеяния разработана программа на языке «Фортран-Дубна» и опробована на ЭВМ БЭСМ-6 на тесте.

Способ построения производных карт, характеризующих степень извилистости линейных объектов (на примере речной сети)

В данном параграфе рассматривается способ построения карты извилистости линейных объектов с помощью сканирующих устройств и ЭВМ.

Точка, в которой кривая и касательная к ней имеет касание второго порядка, называется *точкой перегиба*. В точке перегиба кривая пересекает свою касательную. Кривизна в точке перегиба равна нулю. Очевидно, если x_0 — точка перегиба графика функции $y=f(x)$, то $y''(x_0) = f''(x_0) = 0$.

Требуется вычислить и напечатать таблицу значений (a_{ij}) , где элементы матрицы A , a_{ij} определяют относительное количество точек перегибов в соответствующей части изображения, а затем по элементам матрицы построить карту изолиний. Иными словами, необходимо исходную карту разбить на сеть прямоугольников равных размеров (сумма которых по площади должна давать площадь карты), после чего просуммировать количество точек перегибов по линиям для каждого прямоугольника отдельно, затем полученное значение разделить на

суммарную длину линий в этом прямоугольнике и, наконец, по цифровым данным матрицы (отнесенным к центрам прямоугольников) построить карту изолиний.

Ввод информации исходной карты (на которой представлены подлежащие обработке линейные объекты) осуществляется сканирующим устройством универсального типа. Примем, что изображение исходной карты показано линиями одного цвета, например, черные линии на белом фоне. Тогда в памяти ЭВМ информация будет представлена регулярной решеткой точек с двуградационным квантованием по яркости, т. е. фон 0, изображение 1. Очевидно, что для обработки такого изображения необходима аппроксимация точек, лежащих в узлах решетки, при этом вначале необходимо проделать процедуру отслеживания линий, т. е. выделения непрерывной с шагами d или $d\sqrt{2}$ (где d — шаг развертки) последовательности одиночных точек вдоль линии (желательно средней линии). Методика подобного отслеживания рассмотрена в работах [60, 67], поэтому будет рассматривать только принцип определения показателя извилистости, учитывая, что в памяти машины уже имеется упорядоченная последовательность точек с их координатами.

Очевидно, что если попытаться восстановить изображение, соединяя точки прямыми, то вместо прямых линий получим ломаные. Естественно, что в этом случае получится ложная извилистость (даже если соединить их, например, путем аппроксимации полиномами), которая связана с различной удаленностью точек решетки от истинной границы линии. В этой связи предлагается в качестве основных координат линии брать не координаты узловых точек решетки (т. е. не точки отслеженной линии), а средние значения между узлами, которые лежат на одной прямой и следуют друг за другом на направлении линии. Причем находятся средние значения таких узлов, которые аппроксимируют конечные точки линии на этой прямой.

Действуя таким образом, получим массив координат линии x_{ij}, y_{ij} , где j — индекс, обозначающий, что координаты принадлежат j -ой линии, а i — порядок координаты в линии. Получив такой массив, приступим к определению точек перегибов.

Пусть $y_{i,j}, x_{i,j}; y_{i+1,j}, x_{i+1,j}; y_{i+2,j}, x_{i+2,j}; y_{i+3,j}, x_{i+3,j}$ — подряд идущие четыре точки j -ой линии. Проводим прямую через две точки $y_{i+1,j}, x_{i+1,j}; y_{i+2,j}, x_{i+2,j}$, уравнение ее имеет вид

$$B(x, y) = (y_{i+2,j} - y_{i+1,j})(x - x_{i+1,j}) - (x_{i+2,j} - x_{i+1,j}) \times \\ \times (y - y_{i+1,j}) = 0. \quad (\text{VIII.8})$$

Подставим вместо x и y первые и последние координаты из четверки, т. е. $(x_{i,j}; y_{i,j})$ и $(x_{i+3,j}; y_{i+3,j})$, если при этом значения $B(x, y)$ будут иметь разные знаки, то между этими коор-

динатами существует точка перегиба, если одинаковые — то перегиба нет.

Если линия имеет менее четырех точек, то будем считать, что извилистости нет. Длину линии будем вычислять по формуле (VII.2). Вследствие того, что длина линии определялась по средним точкам между узлами решетки, точность измерения стала существенно выше.

Просуммировав количество точек перегибов по всем линиям рассматриваемой части изображения и разделив на $\sum L_j$, найдем элемент матрицы $A = (a_{ij})$ — извилистости.

Методика построения карты изолиний не рассмотрена, так как довольно полно освещена в опубликованной литературе.

29. АВТОМАТИЗАЦИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФОРМЫ И ТЕСНОТЫ СВЯЗИ ЯВЛЕНИЙ ПО КАРТАМ

При изучении и исследовании природных или социально-экономических процессов и явлений широкое применение находят корреляционные методы анализа картографической информации [82, 7, 23, 81, 39 и др.]. На обработку информации при корреляционном анализе по картам традиционными приемами затрачивается немало сил и времени. Это связано с тем, что информация на традиционных картах представлена в неудобном виде для ввода и обработки в ЭВМ. В результате снятие и ввод исходных данных с карт производят вручную. Предлагаемые способы дают возможность не только автоматического анализа картографической информации (включая машинное чтение карт), но и более высокую оперативность, экономическую и научную эффективность всего процесса исследования при наличии простоты управления этим процессом.

Определение тесноты связи между явлениями, представленными на картах в виде связанных ограниченных областей с качественными характеристиками

Когда явления, отображенные на карте, имеют только качественную характеристику, то выявление тесноты связи между ними возможно только по их взаимному пространственному положению границ контуров и площадей.

Предлагается методика анализа, основанная на оценке площадей, пересекающихся областей коррелируемых явлений. В результате наложения скоординированной сетки точек на одну и на другую карты по количеству точек, попадающих на коррелируемые области карт, и по количеству точек совпадения, являющихся результатом пересечения областей, можно судить о степени тесноты связи между явлениями. В этом случае каж-

дую точку можно рассматривать как элементарную площадку p со сторонами, равными расстоянию между точками сетки. Очевидно, что чем чаще сеть точек, тем надежнее определяемое значение степени тесноты связи явлений.

Показатель тесноты связи может быть вычислен по следующей формуле:

$$\rho_{a,b} = \frac{1}{2} \sum_{\kappa=1}^m S_{\kappa}(c) \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^{m'} S_i(a)} + \frac{1}{\sum_{j=1}^{m''} S_j(b)} \right), \quad (\text{VIII.9})$$

где $S_i(a)$ — сумма элементарных площадок p , попадающих в i -ый контур коррелируемого явления a ; $S_j(b)$ — сумма элементарных площадок p , попадающих в j -ый контур коррелируемого явления b ; $S_{\kappa}(c)$ — сумма элементарных площадок p , попадающих в κ -ый контур, образующийся в результате пересечения явлений, $c = a \cap b$; i, j и κ — номера контуров соответственно коррелируемых явлений a, b и области их пересечения c .

Определение показателя тесноты связи может производиться автономно специализированным анализатором, а также универсальным считывающим устройством в сопряжении с ЭВМ [59].

Рассмотрим особенности определения показателя тесноты связи между явлениями с помощью универсального считывающего устройства и ЭВМ.

Универсальное считывающее устройство содержит одну считывающую головку, а поэтому ввод информации в ЭВМ с карт может осуществляться только последовательно. При этом могут быть два варианта ввода в ЭВМ:

- 1) вводится полностью одна карта, а затем другая;
- 2) обе карты вводятся сразу с построчной последовательностью.

Карты закладываются на сканер так, что за один полный пробег луча развертки в машину вводится по одной строке идентичных точек с каждой карты. Во всех случаях карты строго координируются. Во втором варианте координирование дается только по одной оси координат. Разумеется, что в том случае карты должны быть в одном и том же масштабе и в одной и той же проекции. Второй вариант ввода позволяет осуществлять обработку карты в ЭВМ по строкам одновременно с вводом, т. е. за время ввода новой строки машина успевает обработать информацию предшествующей строки. При таком вводе информации происходит существенная экономия машинного времени на обработку.

По предложенной формуле можно находить функции тесноты связи (например, для исследования тектонических нарушений). Для получения такой функции вычисляется ряд показателей $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \dots, \rho_n$ какой-либо карты со смещением по одной

оси в обе стороны на величины: $-\Delta x$, $-2\Delta x$, $-3\Delta x$, ..., $-n\Delta x$; $+\Delta x$, $+3\Delta x$, ..., $+n\Delta x$, затем аналогично проделывается по другой оси и по обеим осям одновременно: $(-\Delta x, -\Delta y)$, $(-2\Delta x, -2\Delta y)$, ..., $(-n\Delta x, -m\Delta y)$, $(+\Delta x, +\Delta y)$, $(+2\Delta x, +2\Delta y)$, ..., $(+n\Delta x, +m\Delta y)$, при этом направление смещения может быть не только под углом в 45° , но и под другими.

Для наглядного представления полученных данных строятся кривые, характеризующие изменения показателя тесноты связи в зависимости от величины смещения. По вертикальной оси откладывается показатель ρ , а по горизонтальной — шкала смещения, соответственно углам направления смещения.

По экстремальным значениям кривых можно судить, например, о характере тектонических нарушений, а по максимальному значению определить величину и направление сдвига.

Определение корреляционной связи между явлениями, представленными на одной карте качественными характеристиками (в виде контуров), а на другой — количественными (в виде изолиний)

Необходимость выявления взаимосвязей между явлениями, представленными на одной карте только качественными характеристиками, а на другой только количественными, встречается довольно часто. Например, решение задач экстрополяции с применением корреляционного анализа при картографировании распределения фауны суши и морей и подсчета их запасов, где в качестве исходной информации используются геоботанические карты, имеющие в основном качественные характеристики явлений (представляемые в виде контуров), и карты рельефа суши и дна морей, а также климатические карты, имеющие в основном количественные характеристики (представляемые обычно в изолиниях). Для выявления корреляционной связи между такими явлениями может быть использована следующая методика.

Пусть одно явление задано на одной карте в виде контуров, а на другой карте — в виде изолиний. Ставится задача выявить форму и тесноту связи между этими явлениями. Карта изолиний разбивается на зоны. Зоны могут быть в соответствии с сечением, принятым для данной карты, или заданы произвольно. Каждую зону будем рассматривать как ограниченную изолиниями связную область в двумерном пространстве. Каждая такая область будет иметь внешнюю и внутреннюю границы. Причем область может быть многосвязной, а поэтому внутренних границ может быть несколько. Однако все точки внутренней и внешней границ условно принимаются как точки одного уровня по значению z , а интервал между соседними областями Δz считается постоянным. Преобразовав трехмерную поверхность в ряд условно плоских двумерных поверхностей, находим пока-

затель тесноты связи ρ для каждой зоны по формуле (VIII.9). В данном случае показатель ρ находится для каждой из зон, начиная с зоны, имеющей минимальное значение уровня z_{\min} , и заканчивая зоной с максимальным значением z_{\max} ; (z_{\min} , $z_{\min} + \Delta z$, $z_{\min} + 2\Delta z$, ..., $z_{\min} + n\Delta z$), где n — количество зон на карте, а $n \cdot \Delta z = z_{\max}$. В результате будет получен ряд показателей корреляционной связи $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \dots, \rho_n$. Затем строится кривая, характеризующая изменения показателя в зависимости от значения зоны (на вертикальной оси откладываются значения ρ_i , а на горизонтальной — значения z). Если ρ есть монотонно возрастающая функция z , то связь положительная, а если убывающая, то отрицательная.

Для получения более конкретного значения о корреляционной связи явлений по данным ρ и z вычисляется коэффициент корреляции (если поле корреляции достаточно прямолинейно) [4] или корреляционное отношение. Поскольку зоны имеют одинаковые сечения, их можно представить как натуральный ряд чисел (т. е. как арифметическую прогрессию), тогда коэффициент корреляции можно записать в следующем виде:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (\rho_i - \rho_0) (z_i - z_0)}{n \cdot \sigma_\rho \cdot \sqrt{\frac{(n-1)(n+1)}{12}}}, \quad (\text{VIII.10})$$

где σ_ρ — среднее квадратическое отклонение по ρ , т. е.

$$\sigma_\rho = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\rho_i - \rho_0)^2}{n}}.$$

Считывание и обработка осуществляются универсальным считывающим устройством и ЭВМ. Обработка ведется по строкам одновременно со считыванием. Обе карты закрепляются на сканере и считываются последовательно. Форма отображения информации на картах должна обеспечивать распознавание ее в одномерном пространстве, в противном случае построчная обработка одновременно со считыванием будет невозможной.

Как было уже отмечено, зоны могут быть заданы произвольно, независимо от сечения. Так как обработка осуществляется построчно, т. е. сначала вводится строка с одной карты, а затем с другой (пространственно совпадающей с первой), положение границ заданной зоны находится вдоль этой строки. По данным, получаемым в процессе считывания карты и распознавания информации, положение точек зоны по строке в виде координат $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ может быть найдено по формуле

$$\left. \begin{aligned} X_1 &= \frac{x_2 (Z_1 - z_1) + x_1 (z_2 - Z_1)}{z_2 + z_1} \\ X_2 &= \frac{x_{k+1} (Z_2 - z_k) + x_k (z_{k+1} - Z_2)}{z_{k+1} + z_k} \end{aligned} \right\}, \quad (\text{VIII.11})$$

где $x_1, x_2, x_3, \dots, x_k, x_{k+1}, \dots$ — координаты точек встреч луча развертки с изолиниями по одной строке; $z_1, z_2, z_3, \dots, z_k, z_{k+1}$ — значения изолиний, Z_1, Z_2 — соответственно нижний и верхний пределы зоны; X' — координата, относящаяся к внутренней границе зоны; X — координата внешней границы зоны. Необходимость выделения зон по сечению $\Delta Z > \Delta z$ или $\Delta Z < \Delta z$, отличающихся от сечения изолиний, связана с поиском такого оптимального варианта, который бы, с одной стороны, обеспечивал исключение нулевых значений ρ , а с другой, давал достаточное количество показателей для принятия правильного решения.

Алгоритм решения этой задачи имеет следующую последовательность выполнения операций.

1. Ввод в МОЗУ исходных данных до символа «конец строки». Исходные данные задаются в виде трех значений N, x, z на каждую точку встречи луча развертки с изолиниями и два значения N, x для точек встреч с линиями контура, где N — номер строки.

2. Выделение зоны (области) в строке с фиксированным диапазоном высот.

3. Нахождение площадей пересечения двух областей, заданных границами в пределах одной строки.

4. Вычисление показателя тесноты связи для каждой строки $\Delta\rho_1, \Delta\rho_2, \Delta\rho_3, \dots, \Delta\rho_n$. По завершении обработки всех строк находится окончательное значение показателя для каждой заданной зоны

$$\rho_k = \sum_{k=1}^n \Delta\rho_k. \quad (\text{VIII.12})$$

5. Вычисление коэффициента корреляции или корреляционного отношения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренные в монографии технические средства автоматического считывания, хранения, поиска и обработки карт, хотя и отвечают требованиям сегодняшнего дня, однако, если говорить о будущем, то они, естественно, нуждаются в дальнейшем совершенствовании. В этой связи можно высказать некоторые соображения о дальнейших перспективах развития технических средств и данного направления в целом. При этом заметим, что разработка новых технических средств вряд ли приведет к необходимости сколько-нибудь существенного изменения описанных в работе методов отображения информации и ее обработки на ЭВМ.

В последнее время, с появлением квантовых генераторов, стал проявляться большой интерес к возможности использования когерентных оптических систем для обработки изображений, в том числе картографических. Нет сомнений, что это направление является перспективным. К настоящему времени уже достигнуты интересные результаты по пространственной фильтрации и оптической обработке информации с применением когерентной оптики [26]. Особенно широкое применение находит частотная фильтрация. Функцию материала в оптической частотной фильтрации обычно выполняет фотографическая пленка (или пластинка). В гл. IV.16 при описании структуры системы упоминалось о регистрации карт на кинопленку. Под этим следует понимать регистрацию с помощью геометрической и когерентной оптики. Бесспорно, что с помощью когерентной оптики представляется возможность достичь более высокого разрешения изображения на фотоматериале, чем с помощью геометрической. Известно, чем мельче пространственная структура диапозитивов, тем больше дифрагирует света и тем меньше лучей подчиняется законам геометрической оптики. Регистрацию картографической информации с помощью когерентной оптики и ее хранение на фотопленках в виде микрофильмов следует отнести к наиболее перспективным с точки зрения автоматизации хранения и поиска информации и ее обработки, так как в этом случае представляется возможность осуществить обработку информации с помощью когерентных систем и ЭВМ. Правда, последние нуждаются в применении специальных устройств преобразования изображения в цифровой вид. Эти функции могут выполнять считывающие устройства типа сканирующих и типа перцептронов [15, 24, 26]. Необходимость применения для обработки информации цифровых вычислительных машин наряду с оптической обработкой объясняется тем, что последняя (оптическая) имеет сравнительно ограниченные возможности, тем

более, если учесть, что она позволяет получать только результаты интегральной обработки. На первый взгляд казавшееся весьма эффективным и простым применение когерентной оптической системы для решения такой сложной задачи, как распознавание образов, в действительности оказалось не столь простым из-за ряда ограничений. Как известно, распознавание образов в когерентной оптике осуществляется с помощью согласованных фильтров. Последние очень чувствительны к изменению масштаба и поворотам образов на входе системы. При неверной угловой ориентации или неправильном увеличении величина отклика правильно согласованного фильтра уменьшается и в процессе идентификации возникают ошибки. Тем не менее есть все основания ожидать, что с помощью когерентной оптики в дальнейшем можно будет создать эффективные системы хранения и обработки картографической информации. Правда, это не значит, что традиционное представление картографической информации на бумаге потеряет свое значение. Напротив, учитывая нормализацию карт и этим самым возможность автоматического чтения их, без необходимости перевода изображения на фотопленку (сразу с оригинала в ЭВМ), а также учитывая то, что размножение карт является весьма дешевым, при условии обеспечения высококачественного цветного изображения, представляемого в обзорной и наглядной форме, роль карты будет возрастать. Нормализованные карты, размножаемые полиграфическими средствами, будут выполнять функции универсального носителя информации, доступного широкому потребителю.

Дальнейшее развитие техники будет идти в направлении создания универсальных устройств высокого разрешения. Очевидно, что с повышением качества воспроизведения изображения полиграфическими средствами открываются возможности повысить детальность изображения, а это в свою очередь потребует создания более высокоточных технических средств считывания карт. Для повышения точности считывания и надежности распознавания информации целесообразно для сканирования изображения использовать луч лазера. К настоящему времени устройства отклонения луча лазера для целей сканирования известны. Формирование сканирующего светового пятна с помощью луча лазера существенно повысит разрешающую способность системы, так как может быть сформировано пятно с достаточно малыми размерами и с высокой энергией излучения.

Для эффективного решения задачи распознавания знаков на таких сложных картах, как топографические, необходима разработка перцептронных систем с высокой плотностью рецепторов сетчатки, т. е. с достаточно мелкой структурой поля рецепторов, обеспечивающей наиболее полное восприятие элементов картографического изображения [24].

Для распознавания сложных знаков большие возможности заключают в себе методы, связанные с использованием обучающихся стохастических систем.

Такие сложные методы и системы для распознавания знаков нужны для традиционных карт, проблема машинного чтения которых по-прежнему остается актуальной, однако следует отметить, что в этом направлении уже имеются обнадеживающие результаты [9, 10 и др.]. Что касается нормализованных карт, то, как уже отмечалось, распознавание информации осуществляется легко и эффективно с помощью несложных алгоритмов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Асланикашвили А. Ф. Метакартография (основные проблемы). Тбилиси, «Мецниереба», 1974. 125 с. с ил.
2. Автоматизированная система ввода первичной гравиметрической информации в ЭВМ. — В кн.: Геофизическая аппаратура, Л., 1973, вып. 52, с. 127—134 с ил. Авт.: В. Д. Берлянт, К. В. Коган, А. С. Рудаков и др.
3. Берлянт А. М., Перминова А. М. Разложение поверхностей на составляющие как метод структурно-геоморфологического анализа. — «Гео-морфология», 1971, № 3, с. 78—86 с ил.
4. Большаков В. Д. Теория ошибок наблюдений с основами теории вероятностей. М., «Недра», 1965. 184 с. с ил.
5. Бородин А. В. Полуавтоматические приборы ЦНИИГАиК для гравирования пунктирных линий и измерения длин линий на картах. — Изв. вузов, «Геодезия и аэрофотосъемка», 1967, вып. 4, с. 79—84 с ил.
6. Бочаров М. К. Основы теории проектирования систем картографических знаков. М., «Недра», 1966. 135 с. с ил.
7. Бочаров М. К., Николаев С. А. Математико-статистические методы в картографии. М., Геодезиздат, 1957. 158 с. с ил.
8. Бусалаев И. В. Математико-статистические методы обработки картографических материалов. — «Проблемы гидроэнергетического и водного хозяйства», Алма-Ата, 1966, вып. 4, с. 152—164 с ил.
9. Васмут А. С., Мучник И. Б., Чудинович Б. М. Об одной задаче автоматического анализа картографического изображения. — В кн.: Структурные методы опознавания и автоматическое чтение. М., ВИНТИ АН СССР, 1970, с. 127—139 с ил.
10. Вергасов В. А., Васмут А. С., Пругалова Н. А. Об опытах получения обучающей выборки для задач распознавания типов рельефа с помощью ЭВМ. — «Геодезия и картография», 1971, № 7, с. 60—67 с ил.
11. Волков Н. М. Принципы и методы картометрии. М.—Л., изд-во АН СССР, 1950. 326 с. с ил.
12. Воронежцев В. В. Исследование статистических закономерностей зрительного восприятия черно-белого растрового изображения. — Изв. вузов, «Геодезия и аэрофотосъемка», 1973, вып. 2, с. 101—109 с ил.
13. Герасимов И. П. Конструктивная география как наука о целенаправленном преобразовании и управлении окружающей средой. — Изв. АН СССР. Сер. геогр., 1972, № 3, с. 7—11 с ил.
14. Глушков В. М. Вычислительная техника и проблемы автоматизации управления. — В кн.: Будущее науки. М., «Знание», 1971, вып. 4, с. 5—19 с ил.
15. Катъс Г. П. Автоматическое сканирование. М., «Машиностроение», 1969. 517 с. с ил.
16. Кутузов И. А. Ближайшие задачи геодезической и картографической службы СССР. — «Геодезия и картография», 1957, № 11, с. 3—8 с ил.
17. Коган К. В., Ширяев Е. Е. Устройство ввода микрофильмированных бланков. Авт. свид. № 427333, 1975. Бюлл. изобр. № 17, 1974.
18. Лебедев Д. С., Цуккерман И. И. Телевидение и теория информации. М.—Л., «Энергия», 1965. 219 с. с ил.
19. Лобанов А. Н., Журкин И. Г. О создании автоматизирован-

- ной системы управления технологическими процессами аэрофотогеодезического и картографического производства. — «Геодезия и картография», 1974, № 3, с. 37—44 с ил.
20. Лопатухин Б. С., Чигирев А. А., Ширяев Е. Е. Устройство считывания карт изолиний. Авт. свид. № 456283, 1974. Бюллетень № 1, 1975.
21. Максимов Н. П., Сидоров Ф. В. Микрофильмирование карт и чертежей. М., «Недра», 1970. 184 с. с ил.
22. Мартыненко А. И. Об автоматизации процесса составления карт. — «Геодезия и картография», 1970, № 9, с. 50—64 с ил.
23. Мещеряков Ю. А., Сетунская Л. Г. Приемы количественной характеристики взаимосвязи природных явлений по картам с помощью коэффициента корреляции. — «Изв. АН СССР. Сер. геогр.», 1960, № 1, с. 81—90 с ил.
24. Минский М., Пейперт С. Персеитроны. М., «Мир», 1971. 261 с. с ил.
25. Петренко А. И. Автоматический ввод графиков в электронные вычислительные машины. М.—Л., «Энергия», 1968. 423 с. с ил.
26. Применение голографии. Под ред. Гудмена. М., «Мир», 1973. 79 с. с ил.
27. Полшков М. К. Теория аналоговой и цифровой сейсморазведочной аппаратуры. М., «Недра», 1973. 267 с. с ил.
28. Поляков В. Г. Электронное планиметрирование с обходом по контуру. — В кн.: Методы и устройства преобразования графической информации. Киев, «Наукова думка», 1968, с. 164—169 с ил.
29. Пурсаков С. И. Об определении длин кривых сканированием. — «Труды НИИГАиК». Новосибирск, 1969, вып. XXIII, с. 151—157 с ил.
30. Розенфельд А. Распознавание и обработка изображений с помощью вычислительных машин. М., «Мир», 1972. 230 с. с ил.
31. Сазерленд А. Система ввода—вывода информации для вычислительных машин. — В кн.: Информация. М., «Мир», 1968, с. 47—68 с ил.
32. Салищев К. А. Предмет и метод картографии (некоторые современные взгляды). — «Вестник МГУ», 1970, № 2, с. 26—33 с ил.
33. Сидоренко А. В. Геология—наука будущего. М., «Знание», 1964, 64 с. с ил.
34. Сухов В. И. Информационная емкость карты. Энтропия. — Изв. вузов, «Геодезия и аэрофотосъемка», 1967, вып. 4, с. 11—17 с ил.
35. Техническая кибернетика. Проблемы управления и информации. М., «Наука», 1966. 104 с. с ил.
36. Федынский В. В. Разведочная геофизика. М., «Недра», 1970. 676 с. с ил.
37. Халугин Е. И. Теоретическое обоснование фотолюминисцентного цветоподделения штриховых оригиналов. — «Геодезия и картография», 1965, № 6, с. 63—72 с ил.
38. Червяков В. А. Карты взаимосвязей явлений. — Изв. вузов, «Геодезия и аэрофотосъемка», 1970, вып. 6, с. 112—115 с ил.
39. Червяков В. А. Особенности определения корреляций по картам статистических поверхностей. — «Сибирский географический сборник». Новосибирск, «Наука», 1975, с. 5—45 с ил.
40. Шабанов-Кушнаренко Ю. П., Путятин Е. П. Математическая модель цветного зрения человека. Материалы XXI Всесоюзной научной сессии, посвященной 70-летию изобретения радио А. С. Поповым (секция бионики). М., «Наука», 1965, с. 18—21.
41. Шапошников К. К., Ширяев Е. Е. Разработка автоматизированной системы обработки, хранения и поиска гравиметрической инфор-

мации. Материалы семинара по математическому обеспечению цифровой обработки геофизических данных. М., 1971, с. 7—14 с ил.

42. Шибанов Г. П. Распознавание в системах автоконтроля. М., «Машиностроение», 1973. 424 с. с ил.

43. Ширяев Е. Е. Машинное чтение информации, представленной на карте в виде ограниченных связанных областей (качественным фоном). — Изв. вузов, «Геодезия и аэрофотосъемка», 1976, вып. 3, с. 75—85 с ил.

44. Ширяев Е. Е. Электронный гравировальный аппарат. Авт. свид. № 192664. Бюлл. изобр. № 5, 1967.

45. Ширяев Е. Е. Способ распознавания объектов на карте. Авт. свид. № 246921. Бюлл. изобр. № 21, 1969.

46. Ширяев Е. Е. Фотоэлектронное устройство для считывания условных знаков с карт. Авт. свид. № 251250. Бюлл. изобр. № 27, 1969.

47. Ширяев Е. Е. Люминесцентная краска. Авт. свид. № 254595. Бюлл. изобр. № 32, 1969.

48. Ширяев Е. Е. Способ получения люминесцирующих карт. Авт. свид. № 269170. Бюлл. изобр. № 15, 1970.

49. Ширяев Е. Е., Маслаков И. Д., Комиссаров В. А. Способ получения кодированных карт. Авт. свид. № 279070. Бюлл. изобр. № 26, 1970.

50. Ширяев Е. Е. О дальнейшем совершенствовании специальных карт. — «Геодезия и картография», 1966, № 2, с. 51—56 с ил.

51. Ширяев Е. Е. Применение люминесценции на картах. — «Геодезия и картография», 1967, № 3, с. 62—67 с ил.

52. Ширяев Е. Е. Съем информации с карт фотоэлектрическими и электромагнитными системами считывания. — Изв. вузов, «Геодезия и аэрофотосъемка», 1967, № 4, с. 65—77 с ил.

53. Ширяев Е. Е. Автоматизация считывания информации с карт способом опознавания знаков по цветовым признакам. — Изв. вузов, «Геодезия и аэрофотосъемка», 1968, вып. 6, с. 126—133 с ил.

54. Ширяев Е. Е. Проблемы «кибернетизации» географических исследований. — «Оценка природных ресурсов Сибири и Дальнего Востока». Матер. IV совещ. геогр. Сибири и Дальн. Востока. Новосибирск, 1969, с. 57—60 с ил.

55. Ширяев Е. Е. Передача информации на картах методом растровой дискретизации и способы ее автоматического считывания. — «Комплексное картографирование УССР», Киев, «Наукова думка», 1970, вып. 1, с. 370—378 с ил.

56. Ширяев Е. Е. Отображение на картах информации дискретного распространения (для машинного и визуального чтения). — «Вестник МГУ. Сер. геогр.», 1971, № 4, с. 58—64 с ил.

57. Ширяев Е. Е. Отображение на картах мелких площадных объектов применительно к машинному и визуальному считыванию. — Изв. вузов, «Геодезия и аэрофотосъемка», 1972, № 1, с. 91—98 с ил.

58. Ширяев Е. Е. Многоуровневый принцип генерализации и вопросы автоматического чтения карт. Сборник докладов на XXIII Международном географическом конгрессе: «Актуальные вопросы советской географической науки». М., «Наука», 1972, с. 235—241 с ил.

59. Ширяев Е. Е. Анализатор картографической информации. Авт. свид. № 490057, 1975. Бюлл. изобр. № 40, 1975.

60. Ширяев Е. Е. Способ автоматического измерения площадей и периметров контуров с помощью сканирующих устройств и ЭВМ. — «Геодезия и картография», 1973, № 5, с. 65—73 с ил.

61. Ширяев Е. Е. Способ автоматического составления карт плотности линейных объектов. — «Геодезия и картография», 1973, № 8, с. 54—57 с ил.
62. Ширяев Е. Е. Картографическое отображение информации о линейных объектах и принципы ее автоматического считывания и преобразования (на примере речной сети). — Изв. вузов, «Геодезия и аэрофотосъемка», 1973, вып. 5, с. 111—120 с ил.
63. Ширяев Е. Е., Петров А. Б. Автоматическое составление карт по способу мультимасштабного отображения площадных объектов. — Изв. вузов, «Геодезия и аэрофотосъемка», 1974, вып. 4, с. 97—104 с ил.
64. Ширяев Е. Е. Способ получения многоцветных карт со скрытым стереоскопическим изображением. — «Геодезия и картография», 1974, № 12, с. 54—56 с ил.
65. Ширяев Е. Е. Автоматизация картографических методов отображения и анализа географической информации. — «Изв. АН СССР. Сер. геогр.», 1975, № 3, с. 49—60 с ил.
66. Ширяев Е. Е. Нормализация карт изолиний и их машинное чтение с помощью сканирующих устройств и ЭВМ. — «Геодезия и картография», 1975, № 7, с. 64—70 с ил.
67. Ширяев Е. Е. Прослеживание элементов тектоники на картах, аэро- и космических снимках с помощью ЭВМ. — «Разведка и охрана недр», 1975, № 3, с. 16—21 с ил.
68. Ширяев Е. Е. Теоретические аспекты метода растровой дискретизации. — Изв. вузов, «Геодезия и аэрофотосъемка», 1975, вып. 5, с. 101—109 с ил.
69. Ширяев Е. Е. Определение объемов по картам изолиний с помощью специализированного сканирующего устройства и ЭВМ. — «Изв. АН СССР. Сер. геогр.», 1976, № 1, с. 118—122 с ил.
70. Ярославский Л. П. Устройства ввода — вывода изображений для цифровых вычислительных машин. — «Библиотека по автоматике», М., «Энергия», 1968, вып. 303, 88 с с ил.
71. Arnberger E. Die Signatorenfrage in der thematischen Kartographie. Mitteilungen der Österreichischen Geographischen Gesellschaft. Heft III, Wien, 1963, 105 S.
72. Bickmore D. P. *Automatic cartography and planning*. London, 1971, 232 p.
73. Bertin J. *Cartographie statistique automatique*. — «Bulletin du Comité français cartographique», 1967, N 33, p. 3—17.
74. Edson D. T. *Automation in Cartography in the Civil Mapping Agencies of the United States, A Management Study Review*. ICA Commission III Meeting, Budapest, 1973, 25 p.
75. Grygorenko W. Tradycyjne i nowoczesne formy kompleksowej informacji i terenie. «Przeгляд Geodezyjny», 1973, N 48, s. 348—352.
76. Haverlik I., Krcho J. Mathematical generalisation of forming isoline thematic maps by computer exemplified by morphometric analysis of relief and dynamics of relief insolation. Slovak pedagogical publishers, Bratislava, 1973, 425 p.
77. Hoffman F. *Automation. New Friend in Cartography*. Final Rept On ICA. Commission III (Automation in Cartography). Scientific Working Session, Budapest, 1973, Budapest, 1974, p. 53—60.
78. Mor M., Lamden T. A new approach to automatic scanning of contour maps. *Commun ACM*, 1972, N 9, p. 809—812.
79. Morrison Joel L. *Automation's effect on the philosophy of thematic cartographers*. American Congress Survey and Mapping, Columbus, Ohio, 1972. Proc. ACSM—ASP Fall Convent. Washington, 1972, p. 5—26.

80. Papuy Gyula. Forms of cartographic representation and determination of the subject of cartography. «Hungarian Cartography Studies, 1972. Dedicated to 6th International Cartography Association Conference, Monreal—Ottawa». Budapest, 1972, p. 42—46.

81. Robinson A. H. The cartographic representation of statistical surface. *International Geobook of Cartography*, 1961, N 1, p. 53—63.

82. Robinson A. H. The necessity of weighting value in correlation analysis of aerial data. «Annals Association of American Geographers», 1956, vol. 46, N 1—3, p. 233—236.

83. Salichtchev K. A., Berliant A. M. Methodes d'utilisation des cartes dans les recherches scientifiques. *Internationales Jahrbuch für Kartographie*, III. Kartographisches Institut Bertelsmann Gutersloh, 1973, p. 156—183.

84. Tobler W. R. Choropleth maps without class intervals? — «Geographische Anallas», 1973, N 3, p. 262—265.

85. Tomlinson R. F., Calkins H. W., Marble D. F. Computer handling of geographical data. Natural resources research, XIII. The Unesco Press. Switzerland, 1976, 214 p.

86. Töpfer E. Kartographische Generalisierung. VEB Hermann Haak geographisch. Kartographische Anstalt Gotha. Leipzig, 1974, 336 S.

87. Yoeli P. An experimental electronic system for converting contours into shaded relief. Proceedings Vth International Conference, MCA, 1970. Firenze (Italy), 8 p.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Глава I. Общие вопросы по картографическим методам отображения и автоматизации использования карт при изучении и исследовании природных и социально-экономических явлений	5
1. Возможности совершенствования карты как носителя геоинформации на современном этапе развития науки и техники	5
2. Карта как модель объекта исследования и возможности ее анализа автоматическими средствами	11
3. Основные принципы картографического отображения геоинформации	16
4. Понятие о картографической информации	20
5. Понятие о количестве информации в картографии	23
6. Новый подход к вопросу генерализации	28
7. Предмет и задачи картографии	34
Глава II. Новые картографические методы отображения геоинформации	38
8. Отображение информации методом растровой дискретизации	39
9. Отображение непрерывно-дискретной информации	48
10. Отображение информации дискретного распространения	52
11. Способ мультимасштабного отображения площадных объектов	62
12. Отображение основных параметров линейных (протяженных) объектов	68
Глава III. Скрытое кодирование изображений на картах	73
13. Анализ свойств люминесценции применительно к скрытому оптическому кодированию информации на карте	74
14. Способы скрытого оптического кодирования изображений	79
Глава IV. Некоторые вопросы разработки автоматизированной картографической системы	87
15. Выбор типа автоматизированной картографической системы	87
16. Общие сведения о создании универсальной автоматизированной системы комплексной обработки геоинформации	89
17. Общие сведения о считывающих устройствах в картографии	96
Глава V. Некоторые способы автоматического составления аналитических карт нормализованного типа	100
18. Автоматическое составление карт по способу мультимасштабного отображения площадных объектов	100
19. Автоматическое составление карт, отображающих распространение дискретной информации в виде многопараметрической непрерывной картограммы	107
20. Автоматическое отображение линейных объектов по мультимасштабному способу (на примере речной сети)	109
Глава VI. Машинное чтение карт	119

21. Способы избирательного считывания информации по цветовым признакам картографического изображения	120
22. Способы избирательного считывания (распознавания) качественной и количественной информации, отображенной методом растровой дискретизации	128
23. Машинное чтение информации, представленной на карте в виде ограниченных связанных областей	133
24. Машинное чтение карт изолиний	137
Глава VII. Автоматизация получения измерительной картографической информации (картометрия)	143
25. Автоматическое измерение площадей и периметров контуров	143
26. Определение длин линий и площадей кривых поверхностей по картам изолиний с помощью сканирующих устройств и ЭВМ	146
27. Определение объемов по картам изолиний с помощью специализированного сканирующего устройства и ЭВМ	151
Глава VIII. Некоторые способы автоматического преобразования и анализа картографической информации при исследовании природных и социально-экономических явлений	156
28. Картографические формализованные описания пространственного распределения объектов при исследовании природных и социально-экономических явлений с помощью сканирующих устройств и ЭВМ	157
29. Автоматизация определения формы и тесноты связи явлений по картам	168
Заключение	173
Список литературы	176

ИБ № 934

Евгений Евгеньевич Ширяев

**Новые методы
картографического
отображения и анализа
геоинформации
с применением ЭВМ**

Редактор издательства Л. Г. Иванова

Переплет художника В. В. Кошмина

Художественный редактор В. В. Евдокимов

Технический редактор Н. В. Жидкова

Корректор Э. А. Ляхова

Сдано в набор 3/II 1977 г. Подписано в печать 4/V 1977 г. Т-09614. Формат 60×90¹/₁₆.
Бумага № 1. Печ. л. 11,5. Уч.-изд. л. 12,42.
Тираж 1700 экз. Заказ 131/6240-15.
Цена 1 р. 92 к.

Издательство «Недра», 103633,
Москва, К-12, Третьяковский проезд, 1/19.

Московская типография № 6 Союзполиграфпрома при Государственном комитете Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 109088, Москва, Ж-88, Южнопортовая ул., 24.

Уважаемый товарищ!

В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «НЕДРА»
ГОТОВЯТСЯ К ПЕЧАТИ
НОВЫЕ КНИГИ

ГАЙДАЕВ П. А. Математическая обработка государственной геодезической сети. 20 л. 1 р. 30 к.

Книга содержит систематическое изложение вопросов предварительных, уравнительных и окончательных вычислений плановых геодезических сетей 1, 2, 3 и 4 классов. В ней рассмотрены также установление местных и глобальных систем координат, редуцирование к ним результатов измерений и некоторые другие вопросы. Уделено внимание применению ЭВМ, в связи с чем основной упор в изложении сделан на нелогарифмические алгоритмы. Теоретическое рассмотрение ряда вопросов в книге сопровождается практическими примерами.

Предназначена для инженерно-технических работников топографо-геодезического производства.

УСЛОВНЫЕ знаки для топографической карты масштаба 1 : 10 000. 15 л., с цвет. ил. (Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР) 3 р. 65 к.

Обязательны для всех ведомств и учреждений.

Данное издание дополнено и переработано с учетом предложений организаций, создающих и использующих топографические карты. Проведено согласование с Условными знаками для топографических планов масштаба 1 : 5000—1 : 500. Разграничены обозначения для топографических объектов, показываемых во всех случаях и по дополнительным требованиям отраслей народного хозяйства. В графической части дано 73 таблицы, в том числе для ряда новых комплексных образцов сочетания условных знаков. Текстовая пояснительная часть увеличена вдвое; в нее включены все положения о содержании данной карты из других документов по топографическим работам, перечень названий политико-административных единиц СССР, условные сокращения пояснительных надписей, алфавитный указатель знаков.

Условные знаки составлены в Центральном научно-исследовательском институте геодезии, аэросъемки и картографии ГУГК.

Интересующие Вас книги Вы можете приобрести в местных книжных магазинах, распространяющих научно-техническую литературу, или заказать через отделы «Книга — почтой» магазинов:

№ 17—199178. Ленинград, В. О. Средний проспект, 61
№ 59—127412. Москва, Коровинское шоссе, 20

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НЕДРА»

1 р. 92 к.

2187

НЕДРА