

О ДЕШИФРИРОВАНИИ ПРИРОДНЫХ ГРАНИЦ И ГЕНЕРАЛИЗАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ СТРУКТУР ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

И.В.Флоринский

Введение

Практика показала низкую эффективность традиционных тематических карт в решении многих проблем природопользования. Стоит вопрос о создании карт нового типа.

В ряде работ /Метод пластики..., 1987; Степанов, 1990/ показаны преимущества метода "пластики рельефа" в решении различных практических и фундаментальных вопросов, возможность создания на основе этого метода информативных ландшафтных, почвенных, гидрологических, гидрогеологических, галогеохимических, геоботанических карт, использование их в целях тематических прогнозов и регуляции.

На наш взгляд, одна из причин успеха этого метода в том, что изолиния нулевой горизонтальной кривизны $K_h = 0$, дискретизируя земную поверхность на области дивергенции и конвергенции, вероятно, является некоторым элементом идеализированной интегральной природной границы. Очевидно, что внедрение в картографическую практику теории поверхности в силовом поле (статья Шарого П.А. в данном сборнике) приведет к возникновению новых подходов к обработке данных дистанционного зондирования.

В ряде работ /Выявление по топокартам..., 1983а; Степанов и др., 1988/ показана возможность выявления изображений структур земной поверхности, определенным образом соотносящихся с почвенным и растительным покровами, галогеохимическим режимом и, вероятно, с тектоническими структурами. Выявление этой качественно новой информации становится возможным, в основном, благодаря генерализации карт потоковых структур.

Используемый в настоящий момент алгоритм генерализации этих карт /Метод пластики..., 1987; Лошакова, 1988/ количественно не обоснован и, следовательно, субъективен. Гарантии от ошибок и артефактов он не дает, воспроизводимости не обеспечивает. Необходимо найти количественный алгоритм генерализации карт потоковых структур.

В связи со сказанным, в настоящей работе рассматриваются следующие вопросы:

1) возможность картографического решения проблемы выявления природных границ;

2) описание алгоритма обработки данных дистанционного зондирования, обеспечивающего данную возможность;

- 3) низкая адекватность традиционного картографического описания рельефа как причина неэффективности тематических карт;
- 4) краткий анализ основных подходов в алгоритмизации картографической генерализации;
- 5) выбор алгоритма генерализации изображений потоковых структур и его физической реализации на основе информационного подхода к изучению представления и обработки зрительных образов;
- 6) разработка алгоритма визуализации структур земной поверхности.

Введем рабочие определения.

Представление – некоторая формальная система, предназначенная для получения описания – определенной информации об изучаемых объектах, явлениях, процессах /Mapp, 1987/.

Структура земной поверхности (потоковая структура) – система некоторого уровня иерархии положительных, нулевых и отрицательных по горизонтальной кривизне элементов топографической поверхности. Иерархия потоковой структуры определяется масштабным уровнем ее организации. Предполагается определенная связь между потоковыми и геологическими структурами.

Изображение структуры земной поверхности – картографическое описание потоковой структуры в заданных координатах, проекции и масштабе.

Проблема дешифрирования природных границ

Одной из основных научных и практических задач наук о Земле является корректное выявление природных границ /Казанов, 1982/ и их картографическое отображение. Преобладающим видом исходной информации в природных исследованиях в настоящее время являются данные дистанционного зондирования, поэтому, видимо, целесообразнее говорить не о выявлении, а о дешифрировании природных рубежей.

Четких границ в природе не существует /Исаченко, 1958; Заруцкая, 1966, 1975, 1989; Каганский, 1982; Казанов, 1982/, их проведение является абстрагированием, идеализацией ситуации. Ввиду взаимообусловленности ландшафтных индивидуумов /Исаченко, 1975/ очевидно выделение таких идеализированных природных границ, которые характеризуют условно одновременное (без учета инерциальности /Исаченко, 1958/) изменение различных ситуаций (геологической, почвенной, ботанической, гидрологической и т.д.) в ландшафтных системах разного уровня иерархии. Работ, где подчеркивается необходимость изучения и картографического закрепления качественных корреляций ландшафтных компонентов (в основном – почвы и растительности, реже – с учетом рельефа), корректного описания природных границ, много /например, Давыдов, 1951; Заруцкая, 1975; Исаченко, 1958, 1960, 1961; Ларин, 1963; Лидов, 1949/, но математико-картографическое моделирование взаимосвязей явлений встречается в отечественной литературе редко.

В большинстве случаев ставка делается на "разум опытного картографа", который "способен мгновенно учитывать множество связей и оценивать характер их влияния в конкретной географической обстановке" /Салищев, 1975а/. Вероятно, это связано с недооценкой значения количественных параметров изучаемых природных объектов, процессов и явлений, что хорошо заметно, например, по работе А.Г.Исаченко /1958/.

Характеризуя взаимосвязанные объекты и явления, целесообразно использовать сопоставимые способы их отображения, которые могли бы обеспечить согласованность разнотематических карт, объективизировать получаемые при их анализе результаты /Бюштгенс, Кельнер, 1968/. Так как четких границ в природе не существует, необходимо показывать плавность изменения характеристик ландшафтных индивидуумов, выделяя при этом абстрактную границу некоторого уровня иерархии. Такой постановке задачи удовлетворяет способ изолиний: с одной стороны, передается континуальность картируемой количественной характеристики, с другой – она квантуется на области с одинаковыми значениями.

Исходя из концептуальной схемы исследования ландшафта (см. статью Степанова И.Н. с соавт. в данном сборнике), задачу можно сформулировать как создание изолинейных карт-предпосылок, лежащих в основе карт-результатов. При реалистичном подходе к этой проблеме необходимо признать, что, хотя данные почти о всех предпосылках и результатах можно выразить количественно и, следовательно, в форме изолиний, по точности эти карты будут плохо сопоставимы. Это объясняется как несопоставимостью различных характеристик (например, высота, количество лучистой энергии и механический состав почвы), так и – в большей степени – различиями в точности и объективности определения этих характеристик /Лидов, 1949/ (например, можно сравнить точность определения высоты стереофотограмметрическим способом, освещенности – люксметром и толщины гумусового горизонта почвы с помощью глазометра и рулетки). Кроме того, описание некоторых антропогенных факторов-предпосылок в форме изолиний представляется проблематичным.

Таким образом, видимо, целесообразно остановиться на картографическом представлении лишь тех предпосылок, высокую точность и объективность измерения характеристик которых мы можем гарантировать. Данному условию удовлетворяют топографические и топоклиматические факторы-предпосылки.

Топографическую поверхность можно описать изолиниями высоты, крутизны, горизонтальной, вертикальной, двух главных, средней, гауссовой кривизн (статья Шарого П.А. в данном сборнике) и экстремумов кривизны – "структурных линий рельефа" (водораздел, тальвег, подошва, бровка) /Васмут, 1983; Шарый, Степанов, 1991/.

Топоклиматические факторы-предпосылки /Frank, 1988/ тес-

но связаны с топографическими и могут быть представлены в виде изолинейных карт экспозиции и облученности земной поверхности.

Отображение на карте системы этих изолиний, по всей вероятности, может являться достаточно объективным геометрическим каркасом предпосылок природных границ (которые можно с известной осторожностью отождествить с самими границами). Это может помочь более строго вычислять количественные характеристики и корреляционные зависимости явлений, отображаемых на различных типах тематических карт, где до сих пор "почти безраздельно господствует качественный фон и ареалы, т.е. способы, характеризующие явления по площади, но не дающие возможности оценить вертикальную составляющую" /Берлянт, 1986/ и ее влияние на свойства картируемых явлений.

В первом приближении возможна корреляция свойств ландшафтных индивидуумов со знаком горизонтальной кривизны топографической поверхности /Временная методика..., 1984; Метод пластики..., 1987.

Создание карт с геометрическим каркасом предпосылок природных границ, вероятно, могло бы частично решить проблему противоречия между формой и содержанием картографического произведения /Асланиашвили, 1974; Берлянт, 1986/, которая практически выражается в задаче согласования комплектов разнотематических карт /Заруцкая, 1966/, их сопряженном анализе и поиске корреляций внутри спектра природных явлений /Берлянт, 1986; Робинсон, 1975/, а также генерализации изображений взаимозависимых элементов земной поверхности /Салищев, 1975а/. Отсутствие в традиционной картографии математического критерия природной границы делает процесс согласования субъективным, приводящим к потере даже очевидной корреляции между явлениями /Броцкий и др., 1958/, создает уверенность невозможности математического обоснования генерализации комплексных карт /Салищев, 1975а, 1982а/.

Возникает закономерный вопрос: если решение проблемы дешифрования географических границ во многом сводится к количественному описанию топографической поверхности, почему оно не было найдено раньше. Ответ, на наш взгляд, можно получить при анализе проблемы единства математической точности и наглядности изображения рельефа.

Проблема заключается в различной оценке адекватности описания рельефа, сделанного в системе некоторого картографического представления, реальной топографической поверхности. В картографии существует два основных способа описания рельефа: количественно-качественный и строго количественный.

Представитель первого направления А.А.Тилло /1890/ указывал: "хотя математическая основа имеет... первенствующее значение", одни изогипсы не дают ни общей, ни даже частной картины рельефа, и "художественная техника только одна заканчивает дело успешно". Описание качественных приемов изображения рельефа подробно

изложено Т.Н.Гунбиной и А.И.Спиридоновым /1938/ и П.К.Колдаевым /1956/.

Представитель второго направления И.Леман /О ситуации..., 1831/ считал, что в "топографических рисунках должно изображать только контуры... Общепринятое раскрашивание,... боковое освещение и перспективное изображение некоторых возвышенных предметов не только не помогают глазу и уму, но, напротив, утверждают в дурных привычках... Если рисунок назначен единственно для неопытного... топограф может решиться... на боковое освещение и перспективу".

В.В.Витковский /1915/, выступая против использования в описании рельефа художественной техники, писал: "... неровности всего точнее и полнее могут быть представлены совместным применением изогипс и гашюров... Изогипсы позволяют определять с большою точностью высоты, а гашюры – направление и крутизну скатов, вид, общее расположение и связь неровностей..."

М.Эккерт /1931/, подчеркивая, что "карта должна быть составлена так, чтобы по ней можно было быстро разобраться, где возвышенности и где углубления,... карта с рельефом, изображенным только в изогипсах, никогда не сможет дать такой картины", также указывал на необходимость использования штрихов крутизны. В силу специфики технологии, в двадцатых годах нашего века метод гашюров вышел из употребления. Этому способствовала первая мировая война: "для тщательного и научного изображения рельефа при помощи штрихов в военное время не хватало ни времени, ни сил. Проведение горизонталей... было единственно возможным" /Эккерт, 1931/. С другой стороны, замена штрихов горизонтальными резко повысила производительность труда, и потому считалось "прогрессивным мероприятием" /Салишев, 1944/.

С.И.Джусть /1958/ констатирует: отказ от использования других количественных "пластических" способов изображения рельефа "создавал убеждение о достаточности одних горизонталей" для его изображения. Под научностью картирования топографической поверхности стали понимать лишь "возможность точного и быстрого определения высот". Постепенно "изображение рельефа отодвигалось на второй план, уступая место другим элементам ландшафта", которые описывались качественно. Вероятно, одновременно снизилось понимание влияния дифференциальных характеристик топографической поверхности на характеристики других ландшафтных индивидуумов. К природным границам стали относить в основном изолинии экстремумов кривизны рельефа, определяемых, как правило, качественно.

Заметим, что трехмерная компьютерная графика, количественные методы построения блок-диаграмм и алгоритмы цифровой отмывки рельефа, блестящий обзор которых дан в работе В.К.Р.Норн /1981/, в тематической картографии применяются мало.

Создание тематических карт нового типа, основанных на системе изолиний топографических и топоклиматических факторов–предпосылок

развития ландшафта, вероятно, вызовет изменения в подходах к обработке данных дистанционного зондирования как исходной информации для дальнейших природных исследований.

Используемые сегодня алгоритмы дешифрирования аэрокосмоснимков (АКС) достаточно субъективны, результаты их интерпретации зависят, в основном, от опыта, способностей и взглядов исполнителя, являясь порой "импровизацией" /Геологические исследования..., 1975/. Предварительная машинная обработка дистанционных данных /например, Masuoka et al., 1988/, объективизирует результаты дешифрирования слабо, так как окончательная обработка и интерпретация информации осуществляется человеком.

Среди отображаемых на карте характеристик элементов ландшафта математически строго определяется лишь высота рельефа (стереофотограмметрическая обработка аэроснимков при топографическом дешифрировании). Отрисовать вручную по аэроснимку другие описанные выше изолинии невозможно. Аппаратного обеспечения этой задачи сегодня не существует, поэтому различие величин, опи- сывающих элементы топографической поверхности, игнорируется, и воображение дешифровщика создает несуществующие в природе псевдоабстрактные ареалы, которые затем закрепляются на карте.

Избежать подобных результатов дешифрирования, по нашему мнению, можно при следующем алгоритме обработки АКС.

1. В процессе стереофотограмметрического топографического дешифрирования крупномасштабных аэрофотоснимков, на основе стереомодели или цифровой модели рельефа составляется карта топографических и топоклиматических факторов-предпосылок. Дальнейшее топографическое дешифрирование предусматривает увязку ситуации с полученной системой изолиний.

2. В процессе тематического дешифрирования аэрокосмоснимков, в зависимости от степени влияния на изучаемые объекты, явления, процессы представленных изолиниями величин, на географическую основу будущей карты наносятся изолинии наиболее значимых в данной ситуации факторов-предпосылок с необходимым шагом их квантования. Дальнейшее тематическое дешифрирование предусматривает увязку интерпретации аэрокосмоснимка с полученным каркасом системы изолиний. Безусловно, что вопрос степени влияния факторов-предпосылок на тот или иной ландшафтный индивидуум весьма нетривиален и требует фундаментальных исследований.

Проблема генерализации изображений потоковых структур

В ряде работ /Выявление по топокартам..., 1983а, б; Метод пластики..., 1987; Степанов и др., 1988/ показана возможность выявления изображений структур земной поверхности, относящихся к различным уровням иерархии (рис. 1) и связанных, вероятно, с некоторыми геологическими (тектоническими) структурами. Отметим, что использование генерализации топографических карт в аналогичных целях достаточно хорошо известно /например, Цифровая



Рис. 1. Фрагмент "Карты структур земной поверхности и почвенно-го покрова Уральского региона СССР" /1990/. Выделение кольцевых структур различного уровня иерархии проведены Куряковой Г.А. (МИИГАиК). Заштрихованы области дивергенции.

фильтрация..., 1976/, но в нашем случае в качестве исходных данных выступают не изогипсы, а изображения потоковых структур, которые несут, естественно, другую информацию, нежели карты гипсометрии. Очевидно также и то, что процесс выявления названных структур включает в себя не только генерализацию информации, но и ряд других процедур, например – схематизацию, распознавание образов, однако, операция генерализации – наиболее важный этап обработки информации.

Генерализация потоковых структур проводится, как правило, вручную /Метод пластики..., 1987; Лошакова, 1988/, отсутствует ее количественный критерий, что делает проблематичным объективность получающихся результатов. Перед нами стоит задача разработки количественно-го алгоритма преобразования информации карт потоковых структур –

их генерализации – максимально удовлетворяющего постановке задачи. Кроме того, необходимо разработать подходы к проектированию алгоритма выявления структур земной поверхности.

Работа с картой – графическим закреплением описания материального объекта – земной поверхности – есть процесс зрительного восприятия и естественного преобразования информации, заложенной в изображении объекта, в результате которых формируется его описание / Arnheim, 1976; Keates, 1973/. Таким образом, анализ и выбор оптимального алгоритма генерализации и его физической реализации целесообразно проводить на основе информационного подхода к изучению представления и обработки зрительных образов /Marr, 1987/.

При решении задачи обработки информации рассматриваются три уровня понимания устройства, предназначенного для этой цели: 1) информационная теория; 2) представление и алгоритм; 3) физическая реализация.

На первом уровне выясняется, что является целью процесса обработки информации. Работа устройства описывается как некоторое отображение информации одного вида в информацию другого вида, формальные свойства которых определяются точно.

На втором уровне определяется, как может быть реализована существующая информационная теория. Выбираются представление для входной и выходной информации и алгоритм преобразования одной в другую.

На последнем уровне решается вопрос физической реализации выбранных представлений и алгоритма.

Информационная теория. Картографическая генерализация есть форма научной абстракции. Ее целью является извлечение из картографической модели качественно новой информации об изучаемых природных объектах, явлениях и процессах, иерархичное выявление существенной информации об их параметрах и свойствах /Асланикашвили, 1974; Баранский, 1946; Берлянт, 1975, 1986; Васмут, 1983; Гараевская, 1971; Геттнер, 1930; Заруцкая, 1966; Основы генерализации..., 1955; Салищев, 1975б, 1982а, 1982б; Сухов, 1957; Thapa, 1988а; Brassel, Weibel, 1988/.

Графическое средство представления информации должно содержать лишь те элементы, которые необходимы для точного описания и понимания существенной информации, так как "бесполезно стремиться направить внимание на важнейшие характеристики, если они окружены лишними, не относящимися к ним визуальными раздражителями, мешающими восприятию главного" /Боумен, 1971/.

Генерализация достигается путем следующего преобразования исходного массива исследуемой информации:

1. Снижение избыточности информации – исключение из рассмотрения незначительной по некоторым признакам информации, т.е. групп элементов данного массива на некотором масштабном уровне его рассмотрения.

2. Аппроксимация полезной информации – обобщение существенных

по некоторым признакам групп элементов данного информационного массива на некотором масштабном уровне его рассмотрения.

Данные высказывания можно представить в следующем виде:

$$A(m, x, y, \dots) \Rightarrow [E(m, x, y, \dots) \Rightarrow I(J, K, \dots)] = IN(J, K, \dots), \quad (1)$$

где $I(J, K, \dots)$ - исходный информационный массив; $IN(J, K, \dots)$ - массив качественно новой информации, получаемой в результате преобразования массива $I(J, K, \dots)$; J, K, \dots - целочисленные индексы элементов массивов $I(J, K, \dots)$ и $IN(J, K, \dots)$; x, y, \dots - признаки элементов $i(j, k, \dots)$ и $in(j, k, \dots)$ информационных массивов $I(J, K, \dots)$ и $IN(J, K, \dots)$, соответственно; m - признак масштабного уровня рассмотрения информационного массива $I(J, K, \dots)$; $E(m, x, y, \dots)$ - оператор снижения избыточности информации по некоторым признакам элементов массива $I(J, K, \dots)$ при признаке m ; $A(m, x, y, \dots)$ - оператор аппроксимации полезной информации по некоторым признакам элементов массива $I(J, K, \dots)$ при признаке m ; \Rightarrow - знак воздействия операторов $E(m, x, y, \dots)$ и $A(m, x, y, \dots)$ на информационный массив $I(J, K, \dots)$.

Формула (1) описывает в общем виде процесс картографической генерализации и может быть использована для дальнейшего решения задачи обработки информации данного вида.

Представление и алгоритм. При решении задач, связанных с обработкой информации изображений карт потоковых структур, исходной информацией является массив пикселов - наименьших разрешаемых элементов изображения - $I(J, K, \dots)$. Пиксель $i(j, k, \dots)$ обладает следующими признаками: а) координат x, y или r, φ ; б) линейного размера ℓ ; в) пространственной частоты $\omega_{max} = 1/\ell$; г) оптической плотности Φ .

Массив $I(J, K, \dots)$ обладает двумя основными свойствами:

1. По значению оптической плотности Φ $I(J, K, \dots)$ делится на два подмассива: $IW(J, K, \dots)$ и $IB(J, K, \dots)$. Первый подмассив объединяет пиксели с признаком $\Phi = 0$ (белое поле, изображение части области понижения), второй - пиксели с признаком $\Phi = const \neq 0$ (темное поле, изображение части области повышения).

2. Каждый подмассив делится на множество кластеров - групп пикселов R , характеризуемых двумя значениями пространственной частоты ω_x, ω_y , причем $\omega_{min} < \omega_x < \omega_{max}, \omega_{min} < \omega_y < \omega_{max}$; ω_{min} определяется размерами границ изображения.

Качественно новой информацией является массив пикселов $IN(J, K, \dots)$, обладающий аналогичными массиву $I(J, K, \dots)$ свойствами. Главное отличие массива $IN(J, K, \dots)$ от $I(J, K, \dots)$ состоит в том, что $\omega_{max}^N < \omega_{max}$. Спектр пространственных частот массива $IN(J, K, \dots)$ беднее, чем у $I(J, K, \dots)$: $|\omega_{max}^N - \omega_{min}| < |\omega_{max} - \omega_{min}|$,

$$\Delta \omega^N < \Delta \omega. \quad (2)$$

Из массива $IN(U, K, \dots)$ исчезают кластеры с небольшими значениями признака ℓ , происходит сглаживание "неровностей" (высоких частот ω_x, ω_y) при выполнении условия $\omega_{x,y} > \omega_{max}$; число элементов множества R^N меньше числа элементов множества R . Происходит генерализация исходной информации карты потоковых структур. Роль основного признака генерализации – масштабного уровня рассмотрения информации – играет ω_{max} .

Определим оптимальный алгоритм преобразования массива $I(U, K, \dots)$ в $IN(U, K, \dots)$, учитывая, что в данном процессе определяющую роль играет ω_{max} . Для этого проведем краткий анализ основных подходов в алгоритмизации картографической генерализации. Более подробную информацию можно получить в блестящих обзорах данной проблемы, выполненных К.Е.Brassel, R.Weibel /1988/, K.Thapa /1988a/, M.Sirko /1988/. Можно отметить также обзоры А.С.Васмута /1970/, А.И.Мартыненко /1972, 1974/, О.А.Павловой /1978/, К.А.Салищева /1972, 1982в/ и M.S.Montmonier /1982/.

Генерализация достигается путем проведения отбора и обобщения картографического материала "соответственно назначению и масштабу карты и картографируемой территории" /Билич, Васмут, 1984; Гараевская, 1971; Заруцкая, 1966; Основы генерализации..., 1955; Салищев, 1978, 1982а, б; Сухов, 1957; Филиппов, 1946; Thapa, 1988а; и др./

Можно выделить четыре этапа и направления развития теории картографической генерализации:

1. 1900–50 годы. Формирование интуитивных представлений о сущности процесса.
2. 1930–80 годы. Систематизация интуитивных представлений, разработка качественных алгоритмов процесса.
3. 1940–90 годы. Формализация и автоматизация качественных алгоритмов генерализации.

Понятие "генерализация", видимо, введено в 1908 году М.Эккертом /Thapa, 1988а/, считавшим данный процесс частью художественной обработки картографического материала. По мнению М.Эккера, алгоритмизация и объективизация процесса генерализации невозможны, так как закономерностями он не обладает. Подход к генерализации как к чисто субъективному процессу разделяли А.Геттнер /1930/, Э.Имгоф /1940/, А.Робинсон /1975/, E.Raisz /1962/ и другие исследователи.

К.А.Салищев /1939/ выдвинул тезис о научности процесса генерализации. В ЦНИИГАиК начинаются работы по изучению и систематизации эмпирических сведений об этом процессе и разработке качественных алгоритмов генерализации применительно к содержанию топографических карт /Филиппов, 1946; Соколов, 1951; Херсонский, 1951/. Главной итоговой работой направления качественной генерализации стала монография группы авторов "Основы

генерализации...” /1955/. Были проведены исследования по генерализации тематических карт /Исаченко, 1958; Заруцкая, 1965/.

Последовавшие затем многочисленные работы /Аэзолов, 1982; Башенина, Заруцкая, 1969; Билич, Васмут, 1984; Бюшгенс, Кельнер, 1968; Видина, 1963; Гараевская, 1971; Долгова, 1980; Заруцкая, 1966, 1988, 1989; Комков, 1951; Красильникова, 1961; Лошакова, 1988; Мамай, 1970; Салищев, 1978; 1982а; Смирнов, 1961; Спиридовон, 1975; Фадеева, 1963; Imhof, 1982; Keates, 1973; Lundqvist, 1959; Miller, Voskuil, 1964; Pannekoek, 1962/ не внесли существенной новизны в решение проблем, связанных с генерализацией. В отдельных публикациях отрицалась ее главная цель – получение качественно новых знаний /Бугаевский и др., 1986/, нередко под целью данного процесса понимались способы ее достижения – отбор и обобщение, игнорировался принцип иерархичности. Критерием объективности процесса генерализации называлось соответствие преобразованной карты действительности /Гараевская, 1971/, имея в виду ее соответствие “предписанным стандартам качества” /Салищев, 1982а/, т.е. продуктам субъективного процесса обработки эмпирических данных.

Вместе с тем отмечались трудность /Билич, Васмут, 1984; Салищев, 1975а, 1978/, невозможность и неподобранность формализации и автоматизации генерализации: “картограф при взгляде на карту способен воспринимать и мысленно учитывать разнообразные связи, для которых трудно или... невозможно найти математическую зависимость ради обоснования автоматизации процесса генерализации” /Салищев, 1982а/.

Безусловно, “предмет картографирования переполнен такими сторонами, которые составляют предметы исследования других наук” /Асланиашвили, 1974/, но очевидно отсутствие единства “взглядов, концепций на взаимосвязи явлений и строгих объективных критериев” /Ширяев, 1984/. В этой ситуации “приходится полагаться на художественное чутье, поскольку, стыдно признать, он (картограф – И.Ф.) не имеет научного обоснования для ответа на эти вопросы” /Робинсон, 1975/.

Художественный вкус, интуиция, опыт не могут гарантировать воспроизведимости результатов генерализации /Koeman, Weiden, 1970/. При использовании качественных алгоритмов “на карте создается ложная информация... Традиционная методика может быть приемлема лишь для популярных и учебных карт...” /Ширяев, 1984/

В конце сороковых годов начинаются работы по формализации, а несколько позже – автоматизации процесса генерализации. Количественные алгоритмы можно разделить на пять основных типов.

1. Алгоритмы отбора данных, использующих аппараты теорий информации, математической статистики и эмпирические знания экспертов. Алгоритмы разработаны А.В.Бородиным /1948, 1976/, А.В.Бородиным и В.М.Богинским /1973/, Т.В.Давыдкиной и

В.М.Богинским /1974/, В.В.Ивановым /1964/, П.П.Лебедевым /1990/, В.Ю.Нешатаевым /1989/, Б.Б.Серапинасом /1978/, В.И.Суховым /1947, 1950, 1957/, В.И.Суховым и М.Е.Надеждиной /1975/; Г.Н.Тетериным /1987/; Р.Beckett /1977/, N.Kadmon /1972/; E.Srnka /1970/, E.Topfer, W.Pillewizer /1966/; W.Weber /1977/ и другими исследователями.

2. Алгоритмы отбора и обобщения картографической информации (в основном линий, площадных объектов и поверхностей), реализуемые с помощью ее аппроксимации дугами окружностей и отрезками, полиномами различного вида, сплайнами, интерполяцией интегралом Фурье и др. Их различные варианты представлены в работах П.Бауэра /1973/; В.В.Зиборова и И.М.Марчука /1988/; В.В.Иванова /1965/; Ю.В.Свентэка /1986/; Б.В.Соловицкого /1974, 1978/; A.R.Boyle /1970/; G.Dettori, B.Falcidieno, /1982/; С.Кобман, F.L.T.Weiden, /1970/; J.Perkal /1958/; W.R.Tolberg /1965, 1966/; P.Vanicek, D.Woolnough /1975/ и других.

3. Алгоритмы отбора и обобщения, в основе которых лежит использование аппарата теории фильтров. В качестве примера приведем статью B.K.Bhattacharrya, B.Raychandhuri /1967/, работавших с картами остаточной намагниченности, и M.G.Mayers et al. /1988/, изучавших четыре алгоритма цифровой фильтрации тематической карты, составляемой на основе снимка Ландсат. Кроме того, широко известный в науках о Земле тренд-анализ /например, Чарльзорт и др., 1983; Robinson et al., 1969/ также относится к данному типу алгоритмов генерализации.

В ряде работ /Богомолов, 1976; Салищев, 1972/ обращается внимание на возможность проведения количественной генерализации на основе алгоритмов обработки (цифровой или аналоговой фильтрации) изображений /например, Прэтт, 1982/, в том числе - АКС /например, Комаров и др., 1974, 1976; Номоконова и др., 1978; Потапов, 1979; Сергеев, Януш, 1973; Фонтанель, 1975; Цифровая фильтрация..., 1976; Barber, 1949; Masnicka et al, 1988; Pincus, Dobrin, 1966/. Заметим, что возможность представления картографической генерализации как оптической фильтрации качественно описал М.Эккерт, указывая, что негенерализованная карта, если смотреть на нее с некоторого отдаления, должна выглядеть так же, как генерализованная, "частности становятся невидимыми" /Прасолов, 1978/. Сходные идеи высказывали А.Геттнер, /1930/, Л.Ратайский /1975/. Кроме того, явление естественной генерализации, имеющее место при аэрокосмосъемках /Скрягин, 1973/ ившедшее применение при выявлении разнопорядковых природных структур /например, Брюханов и др., 1977; Гонин, Яковлев, 1976; Григорьев, 1975/ и при составлении мелкомасштабных тематических карт /Богомолов, 1974; Брюханов, 1983; Кравцова, 1977; Смирнов, 1982/, является, по существу, низкочастотной фильтрацией (математическая модель приводится в работе Г.Б.Гонина /1980/).

Опыт оптико-электронной низкочастотной фильтрации изображений карт потоковых структур /Метод пластики..., 1987; Степанов и др., 1988; Лошакова, 1988/ показал, что алгоритмы фильтрации изображений, в принципе, пригодны для количественной генерализации карт потоковых структур, однако, необходимы дополнительные исследования и обоснование выбора конкретного алгоритма.

4. Алгоритмы эвристической генерализации. Ориентированы на использование в картографических компьютерных экспертных системах, являются логико-математическими моделями, в которых последовательность операций определяется по аналогии с традиционной ручной технологией генерализации /Халугин и др., 1989/. В качестве элементов данные модели могут включать те или иные охарактеризованные выше алгоритмы.

Подходы к эвристической генерализации разрабатывали А.С.Васмут и В.А.Вергасов /1974/, Е.Е.Ширяев /1977/ (выделение двух видов генерализации - масштабной и целевой), G.Wolf /1984/ и другие исследователи. Алгоритмы этого типа описаны в работах W.Lichtner /1979/, B.Nickerson /1988/, а концептуальные схемы эвристической генерализации приводятся А.С.Васмутом /1983/ и K.E.Brassel, R.Weibel /1988/.

5. Алгоритмы генерализации, основанные на использовании аппарата теории фракталов /Mandelbrot, 1967/, получили развитие в последние годы. В качестве примера назовем работу /K.Clarke, 1988/, который предложил алгоритм генерализации цифровой модели рельефа с разделенным преобразованием его масштабнозависимой и масштабнозависимой (фрактальной) составляющих, а также дал обзор существующих картографических фрактальных моделей. Однако в недавней работе L.W.Carstensen /1989/ убедительно показал нецелесообразность использования топографических данных (цифровых моделей рельефа, карт) для определения фрактальной размерности той или иной местности, ввиду того, что генерализация топографических данных зависит от ряда факторов, не имеющих отношения к фрактальности. Анализ работ K.Clarke /1988/ и L.W.Carstensen /1989/ позволяет предположить некоторое снижение интереса к данному типу количественных алгоритмов генерализации.

На базе краткого обзора основных типов алгоритмов картографической генерализации можно сделать следующий вывод: оптимальным типом алгоритма преобразования входной информации - массива $I(J,K,\dots)$ - в выходную информацию - массив $IN(J,K,\dots)$ для данного вида информации, в целях выявления структур земной поверхности, являются алгоритмы низкочастотной фильтрации изображения, так как они ориентированы на обработку информации, заданной в растровой форме, достаточно легко реализуются как в цифровом, так и в аналоговом варианте, а также более экономичны, нежели алгоритмы других типов. С тем, чтобы максимально приблизить процедуру генерализации к естественному процессу восприятия

образов человеческим зрительным анализатором, предлагается использовать фильтр $\nabla^2 G$ /Marr, 1987/ и последующее двухуровневое квантование изображения /Прэтт, 1982; Marr, 1987/. ∇^2 – оператор Лапласа ($\partial^2/\partial x^2 + \partial^2/\partial y^2$), G – распределение Гаусса:

$$G(x,y) = \exp[-(x^2+y^2)/2\pi\sigma^2], \quad (3)$$

где σ – пространственная постоянная гауссова распределения, среднеквадратичное отклонение. График $\nabla^2 G$ -фильтра в одномерном варианте представлен на рис. 2. Двумерное распределение значений функции Гаусса через расстояние r от начала координат задается следующим выражением:

$$G(r) = -(\pi\sigma^4)^{-1}(1-r^2/2\sigma^2)\exp(-r^2/2\sigma^2). \quad (4)$$

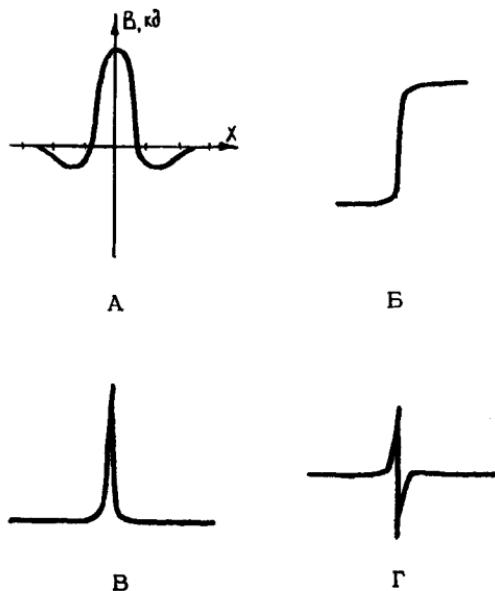


Рис. 2. Представление $\nabla^2 G$ -фильтра в виде одномерной функции, значения которой соответствуют яркости в каждой точке (А). Иллюстрация понятия "пересечение нулевого уровня": изменение оптической плотности (Б) вызывает пик или впадину первой производной (В) и пересечение нулевого уровня во второй производной (Г) /Marr, 1987/

Фильтр $\nabla^2 G$, реализующий оператор снижения избыточности информации $E(m, x, y, \dots)$, выбран по двум причинам:

1) гаусснан G допускает настройку на работу на необходимом масштабном уровне, размывает и эффективно уничтожает все кластеры, относящиеся к масштабному уровню, меньшие значения σ . Гауссово распределение гладко и локализовано в пространственной и частотной областях, что определяет минимальную вероятность внесения каких-либо деталей, отсутствующих на исходном изображении при максимально возможной равномерности его размыния. ω_{\max} соответствует σ .

2) лапласиан ∇^2 , предназначенный для выявления изменения оптической плотности Φ по пересечениям нулевого уровня второй пространственной производной (рис. 2,Б,В,Г), характеризуется экономичностью вычислительной процедуры, так как является изотропным дифференцирующим оператором самого низшего порядка.

Заметим, что полезность этого вида фильтрации была быстро понята специалистами по обработке аэрокосмической информации /Ahearn, 1988/.

В нашем случае при математическом описании операции снижения избыточности исходной информации в ее качестве целесообразнее использовать не массив пикселов $I(J, K, \dots)$, а двумерную функцию распределения оптической плотности исходного изображения $\Phi(x, y)$:

$$\nabla^2[G(x, y) * \Phi(x, y)], \quad (5)$$

где $*$ — знак свертки.

Цифровые значения пикселов, полученные после $\nabla^2 G$ -фильтрации, могут быть положительными и отрицательными (сумма равна нулю). Двухуровневое квантование изображения (присвоение пикселам с положительными значениями признака "+1", или $\Phi = \text{const} \neq 0$, а пикселам с отрицательными значениями признака "-1", или $\Phi = 0$), реализует оператор аппроксимации полезной информации $A(m, x, y, \dots)$ и позволяет иметь на выходе решения задачи абсолютно контрастное генерализованное изображение карты потоковых структур.

Физическая реализация. Предлагаемый алгоритм генерализации изображений структур земной поверхности может быть реализован следующим образом:

1. Гаусснан реализуется с помощью оптической схемы типа фокусировочного элемента (расфокусировка изображения). Величина σ регулируется вручную. Лапласиан ∇^2 и "бинаризация" реализуются также вручную, на основании визуального анализа оптической плотности неаппроксимированного изображения. Исходная информация записана на фотопленку типа "Микрат". На выходе задачи носителем информации является контрастная или особо контрастная фотобумага.

Результаты генерализации при данной реализации алгоритма

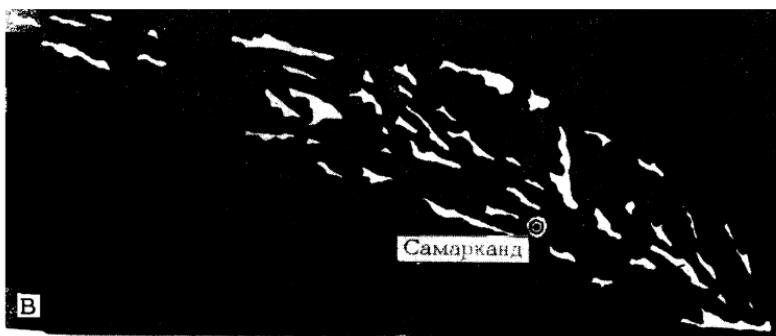


Рис. 3. Иллюстрация оптической фильтрации с помощью $\nabla^2 G$ -фильтра. А - исходное изображение фрагмента "Карты потоковых структур долины Зеравшана" /1989/; Б - реализация гауссиана с помощью расфокусировки; В - ручная реализация лапласиана и бинаризация изображения. Зоны дивергенции обозначены белым цветом

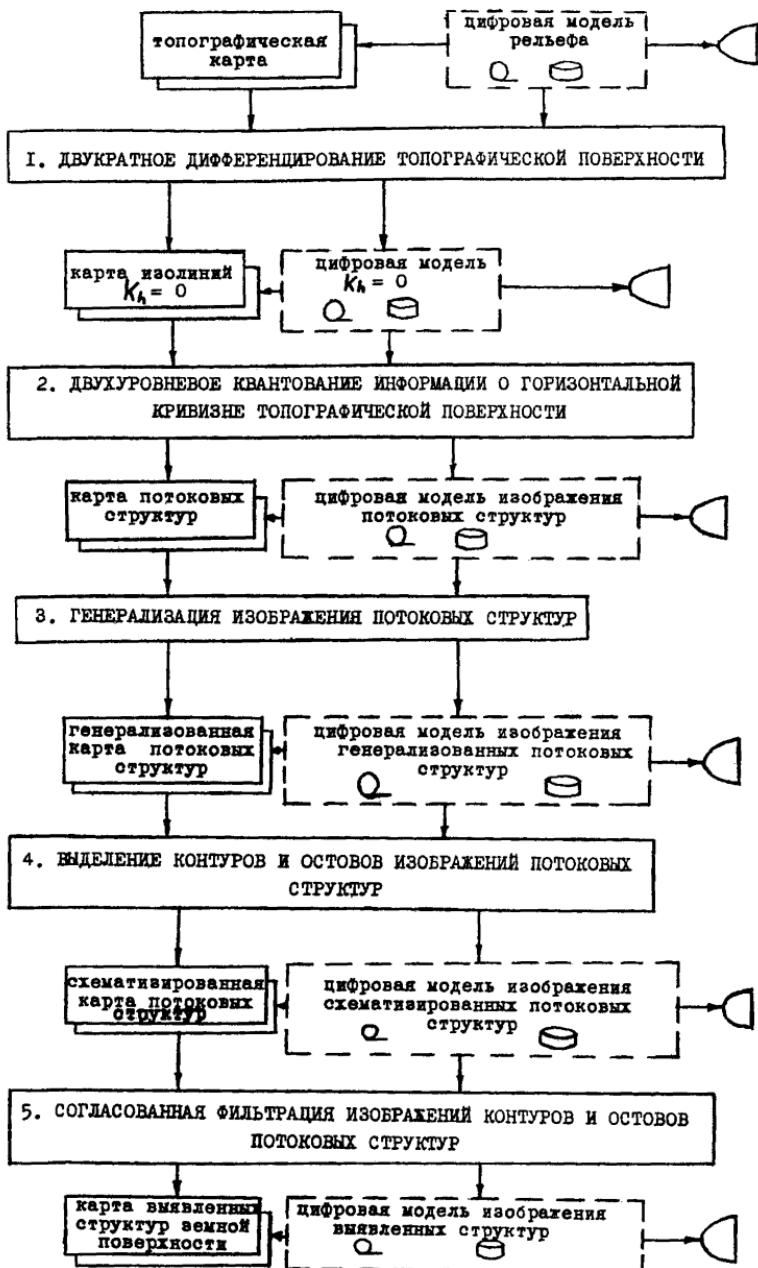


Рис. 4. Блок-схема алгоритма выявления структур земной поверхности. Условные обозначения: **Q** - информация хранится на магнитной ленте; **D** - информация хранится на магнитном диске; **D** - возможность представления информации в виде изображения на экране дисплея

несколько субъективны (рис. 3), но технологический процесс не требует серьезных затрат на оборудование и материалы.

1а. Гауссиан реализуется с помощью растрового рассеивателя или рассеивающей матовой стеклянной пластины. Основные операции - аналогично описанному в п. 1.

2. Цифровая компьютерная обработка изображения с использованием стандартного программного обеспечения /например, Прэтт, 1982/. Ввод информации в ЭВМ производится устройствами типа Scandig, ПЗС-матрица и т.п. Вывод - с помощью принтера или устройства типа Colorwrite.

Предлагаемый алгоритм генерализации может быть эффективно использован для объективизации выявления (визуализации) изображений полигональных и криволинейных структур земной поверхности различного уровня иерархии посредством построения остова генерализованного изображения и его согласованной фильтрации /например, Прэтт, 1982/ (рис. 4). На рис. 5 приводится пример использования данного алгоритма выявления структур земной поверхности. Отметим вероятность использования в аналогичных целях карт (цифровых моделей) вертикальной, средней, главных и гауссовой кривизн.

Выводы

1. Показана возможность картографического решения проблемы дешифрирования природных границ посредством визуализации системы изолиний топографических и топоклиматических величин.

2. Предложен алгоритм генерализации изображений потоковых структур и его физическая реализация. Алгоритм может быть использован для объективизации выявления выраженных в рельфе геологических структур, а также для генерализации любых площадных монохроматических картографических изображений. Вероятно его использование в целях объективизации дальней экстраполяции, тематических прогнозов и регнозов на основе критерия геометрического подобия рисунка потоковой структуры, а также прогноза перколяции (см. статью Шарого П.А. с соавт. в данном сборнике).

3. Кратко изложен вариант алгоритма визуализации изображений структур земной поверхности.



A

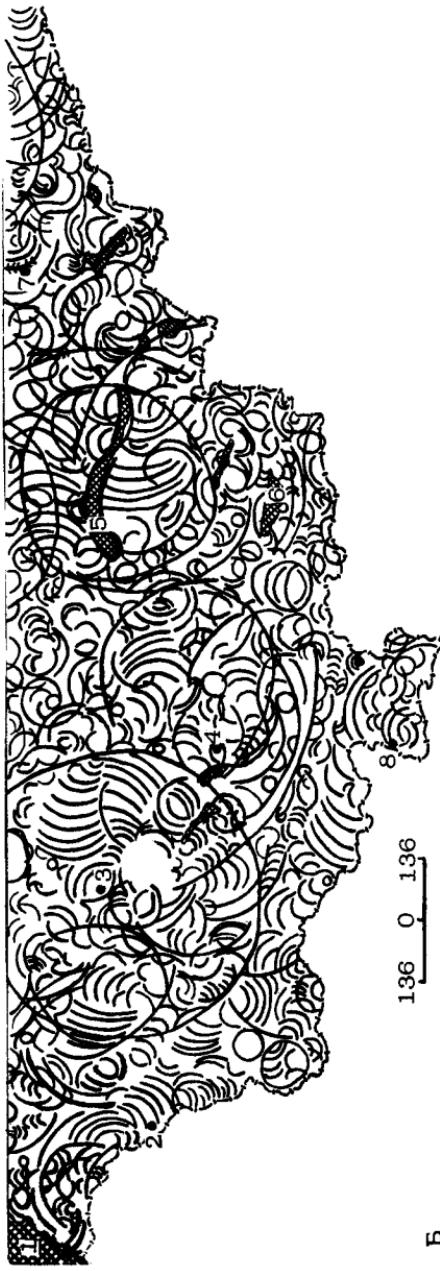


Рис. 5. Иллюстрация алгоритма выявления структур земной поверхности. А - уменьшенное изображение потоковых структур южных районов СССР, выполнено на основе "Карты потоковых структур СССР" /1990/. Б - результат визуального выявления структур земной поверхности, проведенного в соответствии с указанным алгоритмом (рис. 4). Обрабатывалось изображение, приведенное на рис. 5,А. При согласованной фильтрации выделялись дугообразные элементы изображения схематизированной карты потоковых структур. Цифрами обозначены: 1 - Каспийское море, 2 - Ашхабад, 3 - Учкудуқ, 4 - Ташкент, 5 - оаз. Balkhash, 6 - оаз. Иссык-Куль, 7 - Усть-Каменогорск, 8 - Хорог

ЛИТЕРАТУРА

Азизов Ш.К. Об особенностях генерализации крупномасштабных ландшафтных карт//Изв. АН АзССР. Сер. наук о Земле. 1982. № 2. С. 34-40.

Ананьев И.В., Трифонов В.Г. Сопоставление сейсмичности с элементами дешифрирования космических изображений//Исследование природной среды космическими средствами. Геология и геоморфология. Т.5. М.: ВНИТИ, 1976. С. 11-17.

Асланиашвили А.Ф. Метакартография. Основные проблемы. Тбилиси: Мецниереба, 1974. 125 с.

Баранский Н.Н. Генерализация в картографии и в географическом текстовом описании//Ученые записки МГУ. Вып. 119. География, кн. 2. М.: Изд-во МГУ, 1946. С. 180-205.

Бауэр П. Об одном практическом испытанном варианте автоматизированной генерализации линейных объектов картографического изображения//Геодезия и картография. 1973. № 8. С. 49-53.

Башенина Н.В., Заруцкая И.П. Принципы генерализации геоморфологических карт крупных и средних масштабов//Вест. Московского ун-та, сер. география, 1969. № 2. С. 18-24.

Берлянт А.М. Картографическое моделирование и системный анализ//Пути развития картографии. Сборник, посвященный 70-летию профессора К.А.Салишева. М.: Изд-во МГУ, 1975. С. 98-106.

Берлянт А.М. Образ пространства: карта и информация. М.: Мысль, 1986. 240 с.

Билич Ю.С., Васмут А.С. Проектирование и составление карт. М.: Недра, 1984. 364 с.

Богомолов Л.А. Оптическая генерализация и использование космических снимков для обновления мелкомасштабных карт (обзор проблемы)//Аэрометоды в географии. М.: МФГО, 1974. С. 24-26.

Богомолов Л.А. Дешифрирование аэроснимков. М.: Недра, 1976. 145 с.

Бородин А.В. К вопросу об отборе населенных пунктов на общегеографических картах//Сборник научно-технических и производственных статей по геодезии, картографии, топографии, аэроисъемке и гравиметрии. Вып. 18. М.: Геодезиздат, 1948. С. 127-132.

Бородин А.В. Вопросы генерализации картографического изображения при автоматическом создании карт //Геодезия и картография. 1976. № 7. С. 57-64.

Бородин А.В., Богинский В.М. Количественные критерии для генерализации на ЭВМ элементов содержания общегеографических карт//Реф. сборник № 25. Сер. картографическая. М.: ОНТИ ЦНИИГАиК, 1973. С. 6-12.

Боумен У. Графическое представление информации/Пер. с англ. М.: Мир, 1971. 225 с.

Броцкий А.С., Воронина А.Ф. и др. О методах полевого комплексного физико-географического картографирования//Вопросы географии, сб. 42. М.: Географиздат, 1958. С. 9-22.

Брюханов В.Н. О некоторых основных параметрах космических снимков с позиции их геологической информативности//Исследование Земли из космоса. 1983. № 4. С. 39–46.

Брюханов В.Н., Еремин В.К., Можаев Б.Н. Космические съемки в геологии//Сов. геология. 1977. № 11. С. 86–94.

Бугаевский Л.М., Билич Ю.С., Вахрамеева Л.А. и др. О некоторых положениях статьи "Рецидив формалистических концепций коммуникативной картографии под флагом автоматизации"//Геодезия и картография. 1986. № 7. С. 37–42.

Бюшгенс Л.М., Кельнер Ю.Г. Генерализация при комплексном картографировании природы крупных регионов//Геодезия и карточесия. 1968. № 11. С. 67–71.

Васмут А.С. Автоматизация в картографии//Итоги науки и техники. Сер.: География. Картография 1967–1969, вып. 4. М.: ВИНИТИ, 1970. С. 43–64.

Васмут А.С. Моделирование в картографии с применением ЭВМ, М.: Недра, 1983. 200 с.

Васмут А.С., Вергасов В.А. О некоторых математических аспектах процесса генерализации изображения местности на топографических картах//Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. 1974. № 6. С. 85–90.

Видина А.А. О содержании ландшафтных карт крупных масштабов и некоторых вопросах их генерализации//Материалы по физической географии. Вып. 3. Л.: Геогр. об-во СССР, 1963, С. 5–23.

Витковский В.В. Топография. Изд. второе. Петроград: Имп. Ник. Воен. Акад., 1915. 812 с.

Временная методика по составлению карт пластики рельефа крупного и среднего масштаба. Методические рекомендации /Степанов И.Н., Абдуназаров У.К., Брынских М.Н. и др. Пущино: ОНТИ НЦБИ АН СССР, 1984. 20 с.

Выявление по топокартам и аэрофотоснимкам форм естественных почвенно-геоморфологических тел. Клеточная структура земной поверхности. Методические рекомендации /Степанов И.Н. Пущино: ОНТИ НЦБИ АН СССР, 1983а. 76 с.

Выявление по топокартам и аэрофотоснимкам форм естественных почвенно-геоморфологических тел. Классификация структур земной поверхности. Методические рекомендации /Степанов И.Н., Сабитова Н.И. Пущино: ОНТИ НЦБИ АН СССР, 1983б. 56 с.

Гараевская Л.С. Картография. М.: Недра, 1971. 360 с.

Геологические исследования из космоса /Под ред. С.Фредена, Э.Мерканти, М.Беккер/Пер. с англ. М.: Мир. 1975. 287 с.

Геттнер А. География. Ее история, сущность и методы/Пер. с нем. Е.А.Торнеус/Под ред. Н.Н.Баранского. М.: Госиздат, 1930. 416 с.

Гонин Н.Б., Яковлев Н.А. Закономерности генерализации на космических фотоснимках изображений некоторых индикаторов геологического строения//Исследование природной среды космическими

средствами. Геология и геоморфология. Т.5. М.: ВИНИТИ, 1976 С. 211-221.

Гонин Г.Б. Космическая фотосъемка для изучения природных ресурсов. Л.: Недра, 1980, 319 с.

Григорьев А.А. Космическая индикация ландшафтов Земли. Л.: Изд-во ЛГУ, 1975. 165 с.

Гунбина Т.Н., Спиридонов А.И. Опыт проработки вопроса об изображении рельефа на учебных физических картах (на примере карты СССР для средней школы М 1:5000000)/Под ред. А.А.Борзова//Труды ЦНИИГАиК. Вып. 21. М.: Изд-во ГУГСК НКВД СССР, 1938. 62 с.

Давыдкина Т.В., Богинский В.М. Исследование по программному отбору речной сети на ЭВМ//Реф. сборник, сер. картографическая, № 31. М.: ОНТИ ЦНИИГАиК, 1974. С. 55-62.

Давыдов, Г.П. Об отражении на карте взаимосвязей физико-географических элементов//Исследования по картографической генерализации. Труды ЦНИИГАиК. Вып. 76. М.: Геодезиздат, 1951. С. 18-23.

Джусь С.И. Некоторые вопросы картографического изображения рельефа. М.: Геодезиздат, 1958. 96 с.

Долгова Л.С. Методика составления мелкомасштабных почвенных карт. М.: Изд-во МГУ, 1980. 80 с.

Заруцкая И.П. Карты природы. Редакционно-подготовительные работы. Иркутск: Восточно-Сибирское изд., 1965. 208 с.

Заруцкая И.П. Составление специальных карт природы. М.: Изд-во МГУ, 1966. 232 с.

Заруцкая И.П. Географические принципы создания карт природы/Пути развития картографии. Сборник, посвященный 70-летию профессора К.А.Салищева. М.: Изд-во МГУ, 1975. С. 122-131.

Заруцкая И.П., Красильникова Н.В. Картографирование природных условий и ресурсов. М.: Недра, 1988. 299 с.

Заруцкая И.П., Красильникова Н.В. Проектирование и составление карт. Карты природы. М.: Изд-во МГУ, 1989. 296 с.

Зиборов В.В., Марчук И.М. О генерализации глубин при съемке донного рельефа //Геодезия и картография, 1988, № 10. С. 26-27.

Иванов В.В. О программировании отбора населенных пунктов на топографических картах//Геодезия и картография. 1964. № 2. С. 52-63.

Иванов В.В. О некоторых возможностях автоматизации составления топографических карт//Геодезия и картография, 1965. № 1. С. 62-66.

Имгоф Э. Изображение населенных пунктов на карте/Пер. с нем. М.: Геодезиздат. 1940. 76 с.

Исаченко А.Г. Физико-географическое картирование. Л.: Изд-во ЛГУ. Ч. 1. 1958. 232 с. Ч. 2. 1960. 231 с. Ч. 3. 1961. 268 с.

Исаченко А.Г. Картография и изучение взаимодействий между природой и обществом//Пути развития картографии. Сборник, пос-

вященный 70-летию профессора К.А.Салишева. М.: Изд-во МГУ, 1975. С. 46-56.

Каганский В.Л. Географические границы: противоречия и парадоксы//Географические границы/Под ред. Б.Б.Родомана и Б.М.Эккеля. М.: Изд-во МГУ, 1982. С. 7-19.

Казанов Л.К. К определению границ природных и природно-технических систем//Географические границы/Под ред. Б.Б.Родомана и Б.М.Эккеля. М.: Изд-во МГУ, 1982. С. 96-101.

Карта потоковых структур долины Зеравшана, М 1:25000. Составила Н.И.Сабитова. Ташкент: рукопись, фонды Гидроингео ПО Узбекгидрогеология, 1989.

Карта потоковых структур СССР, М 1:2500000. Листы 13, 14. Составила З.Ф.Поветухина. Пущино: рукопись, фонды ИПФС АН СССР, 1990.

Карта структур земной поверхности и почвенного покрова Уральского региона, М 1:1500000. Составили И.Г.Федичкина, Г.А.Курякова, З.Ф.Поветухина. Пущино: рукопись, фонды ИПФС АН СССР, 1990.

Колдаев П.К. Пластическое изображение рельефа на картах. М.: Геодезиздат, 1956. 134 с.

Комаров В.Б., Номоконова В.Ф., Углев Ю.В. Методы фильтрации фотоизображений и возможности их применения в геологии//Исследование природной среды космическими средствами. Геология и геоморфология. Т.2. М.: ВИНТИ, 1974, С. 107-110.

Комаров В.Б., Номоконова В.Ф., Углев Ю.В. Дальнейшее развитие вопросов фотографической фильтрации изображений в целях геологического дешифрирования//Исследование природной среды космическими средствами. Геология и геоморфология. Т.5. М.: ВИНТИ, 1976. С. 271-279.

Комков А.М. К вопросу о сущности и методах генерализации в картографии//Вопросы географии, Вып. 27. Экономическая география. М.: Географиздат, 1951. С. 237-256.

Кравцова В.И. Космическое картографирование. М.: Изд-во МГУ, 1977, 168 с.

Красильникова Н.В. Вопросы генерализации при составлении специальных карт (на примере геологических карт). М.: Изд-во МГУ, 1961. 153 с.

Ларин Д.А. Научно-техническое проектирование географических карт. М.: Госгеолтехиздат, 1963. 167 с.

Лебедев П.П. Системно-информационный подход к исследованию картографической генерализации//География и природные ресурсы, 1990, № 1, С. 151-156.

Лидов В.П. Из опыта работы по ландшафтному картированию Приокско-Террасного государственного заповедника//Вопросы географии. Сб. 16. Ландшафтovedение. М.: Географиздат, 1949. С. 179-190.

Лошакова Н.А. Использование метода пластики рельефа для сос-

тавления и анализа почвенных карт. Автореф. канд. дис. Новосибирск, 1988, 16 с.

Мамай И.И. Возможности генерализации ландшафтных карт (на примере западной части Казахстана) //Ландшафтный сборник. М.: Изд-во МГУ, 1970. С. 232-255.

Марр Д. Зрение. Информационный подход к изучению представления и обработки зрительных образов/Пер. с англ. М.: Радио и связь, 1987. 400 с.

Мартыненко А.И. Автоматизация в картографии//Итоги науки и техники. Сер.: Картография. Т.5. М.: ВИНТИ, 1972, С. 24-52.

Мартыненко А.И. Автоматизация в картографии//Итоги науки и техники. Сер.: Картография. Т.6. М.: ВИНТИ. 1974. С. 45-80.

Метод пластики рельефа в тематическом картографировании: Сборник научных трудов. Пушкино: ОНТИ НЦБИ АН СССР, 1987. 160 с.

Нешатаев В.Ю. Программа для автоматической генерализации картографических материалов//Эколого-географическое картографирование и оптимизация природопользования в Сибири. Материалы к 4 Регион. научн.-тех. конф. по тематическому картографированию (Иркутск, ноябрь 1989). Вып. 3. Иркутск: ИГ СО АН СССР, 1989. С. 175-176.

Номоконова В.Ф., Трофимов Д.М. и др. Фотографическая фильтрация – метод повышения геологической информативности космических снимков//Изв. вузов. Геология и разведка. 1978. № 11. С.136-141.

О ситуации или руководство к правильному изображению земной поверхности на топографических картах и планах. Извлечение из сочинений Лемана/Пер. с нем. СПб, 1831. 74 с.

Основы генерализации на общегеографических картах мелкого масштаба/Под ред. Ю.В.Филиппова//Труды ЦНИИГАиК. Вып. 104. М.: Геодезиздат, 1955. 336 с.

Павлова О.А. Математические методы генерализации линейных элементов при автоматизированном составлении карт//Методы современной картографии. Л.: Геогр. об-во СССР, 1978, С. 45-49.

Потапов О.А. Проблема обработки больших массивов геолого-геофизической информации и пути ее решения//Голография и оптическая обработка информации в геологии и геофизике. Л.: ЛИЯФ, 1979, С. 5-18.

Прасолов Л.И. К вопросу содержания почвенных карт мелкого масштаба//Генезис, география и картография почв. М.: Наука, 1978. С. 206-214.

Прэтт У. Цифровая обработка изображений. Кн. 2 /Пер. с англ. М.: Мир, 1982. 480 с.

Ратайский Л. К вопросу о видах картографической генерализации Пер. спольск.//Пути развития картографии. Сборник, посвященный 70-летию профессора К.А.Салищева. М.: Изд-во МГУ, 1975. С.57-66.

Робинсон А. Исследования по оформлению карт//Пер. с англ.//
Там же. С. 67-75.

Салищев К.А. Основы картоведения. Общая часть. М.: Редбюро
ГУТК при СНК СССР, 1939. 308 с.

Салищев К.А. Важнейшие труды советской картографии за
25 лет//Сборник научно-технических и производственных статей
по геодезии, картографии, топографии, аэросъемке и гравиметрии.
Вып. 6. М.: Изд-во геодезической и картографической литературы,
1944. С. 3-29.

Салищев К.А. Генерализация в ее истории и современном раз-
витии//Итоги науки и техники. Сер.: Картография, Т.5. М.: ВИНИТИ,
1972. С. 6-23.

Салищев К.А. Взгляд на картографию в аспекте научно-техни-
ческой революции//Пути развития картографии. Сборник, посвящен-
ный 70-летию профессора К.А.Салищева. М.: Изд-во МГУ, 1975а.
С. 21-35.

Салищев К.А. О картографическом методе познания (анализ не-
которых представлений о картографии)//Пути развития картографии.
Сборник, посвященный 70-летию профессора К.А.Салищева. М.: Изд-
во МГУ, 1975б. С. 36-45.

Салищев К.А. Проектирование и составление карт. М.: Изд-во
МГУ, 1978. 238 с.

Салищев К.А. Картоведение. М.: Изд-во МГУ, 1982а. 408 с.

Салищев К.А. Картография. М.: Высшая школа, 1982б. 272 с.

Салищев К.А. Идеи и теоретические проблемы в картографии
80-х годов. Итоги науки и техники. Сер.: Картография, Т.10. М.:
ВИНИТИ, 1982в. 155 с.

Свентэк Ю.В. Обобщение начертаний на картах: опыт формализа-
ции метода//Тематическое системное картографирование с исполь-
зованием автоматики и дистанционных методов. М.: МФГО, 1986,
С. 18-23.

Серапинас Б.Б. О применении вероятностных зависимостей к
математическому обоснованию генерализации//Вест. Московского
ун-та, Сер.: География, 1978. № 4. С. 38-45.

Сергеев Г.А. Янутш Д.А. Статистические методы исследования
природных объектов. Л.: Гидрометеоиздат, 1973. 300 с.

Смирнов Л.Е. Генерализация при аэрокосмическом картографиро-
вании//Вестн. Ленинградского ун-та, Сер. география. 1982. № 12.
С. 60-70.

Смирнов Н.Н. Особенности составления и редактирования средне-
масштабных ландшафтных (типологических) карт//Изв. Воронежского
отд. геогр. об-ва СССР, 1961, Вып. 3. С. 91-96.

Соколов П.Д. Характерные примеры генерализации рельефа на
общегеографических картах//Исследования по картографической гене-
рализации/Труды ШНИГАиК, вып. 76. М.: Геодезиздат, 1951.
С. 59-73.

Соловицкий Б.В. Некоторые возможности автоматического обобще-
ния очертаний//Геодезия и картография. 1974. № 12. С. 56-59.

Соловицкий Б.В. Общий алгоритм автоматической генерализации тематических карт, составленных способом качественного фона, с помощью ЭВМ//Новые методы в тематической картографии (Математико-картографическое моделирование и автоматизация) М.: Изд-во МГУ, 1978. С. 103-113.

Спиридонов А.И. Геоморфологическое картографирование. М.: Недра, 1975. 183 с.

Степанов И.Н. Истинные и ложные линии на почвенных картах// Почвоведение. 1990, № 3. С. 128-146.

Степанов И.Н., Лошакова Н.А., Орлова Е.В. Оптико-структурный анализ форм земной коры по топографическим картам //ДАН СССР. 1988. Т. 299. № 4. С. 847-851.

Сухов В.И. Изображение населенных пунктов СССР на топографических картах//Труды ЦНИИГАиК. Вып. 48. М.: Геодезиздат, 1947, 176 с.

Сухов В.И. Аналитический метод генерализации//Труды МИИГАиК, Вып. 5. М.: Изд-во геодезической и картографической литературы, 1950. С. 3-14.

Сухов В.И. Составление и редактирование общегеографических карт. М.: Геодезиздат, 1957. 279 с.

Сухов В.И., Надеждина М.Е. Отбор дискретной информации на картах с применением ЭВМ//Географический сборник. № 5. М.: ВИНИТИ, 1975. С. 190-201.

Тетерин Г.Н. Числовые и аналитические характеристики карт и их значение при автоматизации картографирования//Научные труды ВАГО. Материалы 8 съезда ВАГО. Геодезия и картография. М.: ВАГО, 1987. С. 133-137.

Тилло А.А. Орография Европейской России на основании гипсометрической карты//Известия Императорского Русского Географического общества. Т. 36. СПб, 1890. С. 8-32.

Фадеева Н.В. О проблеме генерализации ландшафтных карт// Вопросы ландшафтоведения (Материалы к 6 Всесоюзному совещанию по вопросам ландшафтоведения). Алма-Ата: АН КазССР, Геогр. об-во СССР, 1963. С. 208-214.

Филиппов Ю.В. Основы генерализации рельефа на топографических картах//Труды ЦНИИГАиК. Вып. 47. М.: Геодезиздат, 1946, 232 с.

Фонтанель А. Обработка изображений ЕРТС//Геологические исследования из космоса/Пер. с англ. М.: Мир, 1975. С. 141-144.

Халугин Е.И., Каминский В.И., Стрелец Е.А. и др. Выбор операций генерализации по эвристическим признакам//Геодезия и картография. 1989, № 6. С. 37-39.

Херсонский С.А. Генерализация элементов почвенного и растительного покрова на общегеографических картах//Труды ЦНИИГАиК, Вып. 76. Исследования по картографической генерализации. М.: Геодезиздат, 1951. С. 24-39.

Цифровая фильтрация аэроснимков, стереомоделей и карт/Под ред. А.А.Чигирева. Л.: Недра, 1976. 200 с.

Чарльзурт Х.А.К., Робинсон Дж.Е., Кольбо Ж.П. Изучение особенностей рельефа методом пространственной фильтрации (на примере Парижского бассейна)/Пер. с фр./Картография. Зарубежные концепции и направления исследований. Вып. 1. М.: Прогресс, 1983. С. 246-259.

Шарый П.А., Степанов И.Н. Метод вторых производных в геологии//ДАН СССР. 1991. Т. 219. № 2.

Ширяев Е.Е. Новые методы отображения и анализа геоинформации с применением ЭВМ. М.: Недра, 1977. 182 с.

Ширяев Е.Е. Картографическое отображение, преобразование и анализ геоинформации. М.: Недра, 1984. 248 с.

Эккерт М. Военная картография/Пер. с нем. М.: Военно-топографическое управление РККА, 1931. 77 с.

Ahearn S.C. Combining laplacian images of different spatial frequencies (scales): implications for remote-sensing image analysis//IEEE Trans. Geosci. and Remote Sens. 1988. Vol. 26. No 6. P. 826-831.

Arnheim R. The perception of maps//Amer. Cartogr. 1976. Vol. 3. No 1. P. 5-10.

Barber N.F. A diffraction analysis of a photograph of the sea//Nature. 1949. Vol. 164. No 4168. P. 485.

Beckett Ph. Cartographic generalisation//Cart.J. 1977. Vol. 14. No 1. P. 49-50.

Bhattacharyya B.K., Raychaudhuri B. Aeromagnetic and geological interpretation of a section of the Appalachian Belt in Canada//Canad. J. Earth Sciences. 1967. Vol. 4. No 6. P. 1015-1037.

Boyle A.R. The quantised line//Cartogr. J. 1970. Vol. 7. No 2. P. 91-94.

Brassel K.E. Weibel R. A review and conceptual framework of automated map generalization//Int. J. Geographical Information Systems. 1988. Vol. 2. No 3. P. 229-244.

Carstensen L.W.Jr. A fractal analysis of cartographic generalization//Amer. Cartogr. 1989. Vol. 16. No 3. P. 181-189.

Clarke K.C., Scale-based simulation of topographic relief//Amer. Cartogr., 1988, Vol. 15. No 2. P. 173-181.

Dettori G., Falcidieno B. An algorithm for selecting main points on a line//Computers and Geosciences. 1982. Vol. 8. No 1. P. 3-10.

Frank T.D. Mapping dominant vegetation communities in the Colorado Rocky Mountain Front Range with Landsat Thematic Mapper and digital terrain data//Photogram. Eng. and Remote Sensing. 1988. Vol. 54. No 12. P. 1727-1734.

Horn B.K.P. Hill shading and the reflectance map//Proc. of the IEEE. 1981. Vol. 69. No 1. P. 14-47.

- Imhof E. Cartographic relief presentation. Berlin-N.Y.: Walter de Gruyter, 1982. 389 p..
- Kadmon N. Automated selection of settlement in map generalisation//Cartogr.J., 1972. Vol. 9. No 2. P. 93-98.
- Keates J.S. Cartographic design and production. N.Y.: A Halsted Press Book, 1973. 240 p.
- Koeman C., Weiden F.L.T. van der. The application of computation and automatic drawing instruments to structural generalization//Cartogr.J. 1970. Vol. 7. No 1. P. 47-49.
- Lichther W. Computer-assisted processes of cartographic generalization in topographic maps//Geo-Processing. 1979. Vol. 1. No 2. P. 183-199.
- Lundqvist G. Generalization - a preliminary survey of an important subject//Canadian Surveyor, 1959. Vol. 16. No 10. P. 466-470.
- Mandelbrot B. How Long is the coast of Britain? Statistical self-similarity and fractional dimension//Science. 1967. Vol. 156 No 3775. P. 636-638.
- Masuoka P.M., Harris J., Lowman P.D. et al. Digital processing of orbital radar data to enhance geologic structure: examples from the Canadian Shield//Photogram. Eng. and Remote Sens. 1988. Vol. 54. No 5. P. 621-632.
- Mayers M.G., Fosnight E.A., Sturdevant J.A. A study of four raster-based data generalization procedures//U.S. Geological Survey Bull. 1988. No 1841. P. B1-B10.
- Miller O.M., Voscuil R.J. Thematic-map generalization//Geographical Review. 1964. Vol. 54. No 1. P. 13-19.
- Monmonier M.S. Cartography and mapping//Progress in Human Geography. 1982. Vol. 6. No 3. P. 441-448.
- Nickerson B.G. Automated cartographic generalization for linear features//Cartographica. 1988. Vol. 25. No 3. P. 15-66.
- Pannekoek A.J. Generalization of coastlines contours//Internationales Jahrbuch für Kartographie, Bd. 2. Gutersloh: C.Bertelsmann Verlag, 1962. P. 55-75.
- Perkal J. Proba objektywnej generalizacji//Geodesia i Kartografia. 1958. T. 7. Z. 2. P. 130-142.
- Pincus H.J., Dobrin M.B. Geological application of optical data processing//J. Geophys. Res. 1966. Vol. 71. No 20. P. 4961-4969.
- Raisz E. Principles of cartography. N.Y.-San Francisco-Toronto-L.: McGraw-Hill Book Company, 1962. 315 p.
- Robinson J.E., Charlesworth H.A.K., Ellis M.J. Structural analysis using spatial filtering in interior

plains of South-Central Alberta//Amer. Association of Petroleum Geologists Bull. 1969. Vol. 53. No 11. P. 2341-2367.

Sirco M. Rozwóy badań nad generalizacją kartograficzną//Czasopismo geograficzne, 1988. T. 59. Z. 1. P. 51-65.

Srnka E. The analytical solution of regular generalization in cartography//Int. Jahrbuch für Kartographie, Bd. 10. Gütersloh: Kartographishes Institut Bertelsmann, 1970. S. 48-62.

Thapa K.A. Review of critical points detection and line generalization algorithms//Surveying and Mapping. 1988a. Vol. 48. No 3. P. 185-205.

Thapa K.A. Automatic line generalization using zero-crossings//Photogram. Eng. and Remote Sensing 1988b. Vol. 54. No 4. P. 511-517.

Tobler W.R. Automation in the preparation of thematic maps//Cartogr. J. 1965. Vol. 2, No 1. P. 32-38.

Tobler W.R. Numerical map generalization//Michigan Inter-University Community of Mathemat. Geographers. Discus. Paper. 1966. No 8, P. 1-27.

Töpfer F., Pillewizer W. The principles of selection//Cartogr.J. 1966. Vol. 3. No 1, P. 10-16.

Vanicek P., Woolnough D.F. Reduction of linear cartographic data based on generation of pseudo-hyperbolae//Cartogr.J. 1975. Vol. 12. No 2. P. 112-119.

Weber W. Optimal approximation in automated cartography//Optimal Estimation in Approximation Theory. The IBM Research Symposia Series. N.Y.-L.: Plenum Press, 1977. P. 201-213.

Wolf G.W. A mathematical model of cartographic generalization//Geo-Processing. 1984. Vol. 2. No 3. P. 271-286.