

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ПУЩИНСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
ИНСТИТУТ ПОЧВОВЕДЕНИЯ И ФОТОСИНТЕЗА

ПРЕПРИНТ

И. В. ФЛОРИНСКИЙ

**ГЕНЕРАЛИЗАЦИЯ В
КАРТОГРАФИИ: КРАТКИЙ
ОБЗОР ПРОБЛЕМЫ**

ПУЩИНО. 1991

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ПУЩИНСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
ИНСТИТУТ ПОЧВОВЕДЕНИЯ И ФОТОСИНТЕЗА

ПРЕПРИНТ

И. В. ФЛОРИНСКИЙ

**ГЕНЕРАЛИЗАЦИЯ В
КАРТОГРАФИИ: КРАТКИЙ
ОБЗОР ПРОБЛЕМЫ**

ПУЩИНО. 1991

Проведен обзор публикаций, посвященных различным вопросам генерализации в картографии. Основное внимание уделено количественным подходам к решению данной проблемы. Рассмотрены прикладные аспекты картографической генерализации : выявление структур топографической поверхности и процесс-ориентированная генерализация.

Работа может быть полезна для картографов, геологов, геоморфологов и других специалистов, использующих картографический метод исследования.

ВВЕДЕНИЕ

Любое научное исследование включает в себя этапы предварительной обработки исходной информации для снижения ее избыточности и выявления определенных или наиболее существенных признаков предмета изучения. С этой целью в каждой области знания разработаны качественные и/или количественные подходы к анализу и преобразованию исходной информации. В картографии и науках, использующих картографический метод исследования /Салищев, 1955/, совокупность таких подходов называется генерализацией /Основы генерализации..., 1955/.

Настоящий обзор состоит из четырех частей. В первой изложены общие сведения о картографической генерализации - масштабной и целевой, их причины, задачи, факторы и операции. Во второй части приведен краткий анализ концептуальных схем и моделей генерализации. Третья часть в основном посвящена обзору количественных алгоритмов отбора дискретных элементов содержания карты, упрощения элементов линейного и площадного типов, а также трехмерных объектов и распределений. Приводится краткая ретроспектива интуитивных и качественных подходов к алгоритмизации масштабной генерализации и некоторых других вопросов. В четвертой части рассматриваются прикладные аспекты картографической генерализации, в основном - ее геологические приложения, а также процесс-ориентированная генерализация.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

"Картографической генерализацией называется обобщение содержания карты соответственно ее назначению и масштабу" /Multilingual dictionary..., 1973/. Опыт показывает, что целесообразно различать два вида генерализации - масштабную и целевую /Ширяев, 1977/ (формальную и смысловую по А.С.Васмуту /1983/, графическую и феномен-ориентированную по Д.М.Марк /1989/).

Масштабная генерализация – необходимое условие создания любой карты, картографическое проявление процесса снижения избыточности информации. Как отмечал Н.Н.Баранский /1946/, "генерализация имманентно присуща карте, и картограф проделывает работу по генерализации еще при самой первоначальной съемке". Это вызвано двумя причинами: а) сложность формы (конфигурации, структуры) предметов изучения не позволяет создавать их абсолютных отображений, "карта является только выборкой" /Имгоф, 1940/; б) любое графическое средство представления информации должно характеризоваться четкостью и лаконичностью своего языка /Боумен, 1971/.

Масштабная генерализация решает три задачи: 1. Упрощение структуры карты при сохранении общего подобия оригиналу. 2. Сохранение максимальной точности положения элементов отображаемой информации. 3. Сочетание максимальной нагрузки карты и ее читаемости.

Целевая генерализация – необходимое условие выделения определенных или наиболее существенных признаков предмета изучения: восприятие такой информации непосредственно по негенерализованной версии карты может затрудняться интегральным характером представления данных. Целевая генерализация решает две задачи: 1. Выявление и отображение определенных признаков, свойств и взаимосвязей предметов изучения. 2. Переход от их индивидуальных черт к родовым характеристикам /Баранский, 1946; Лютый, 1988; Ласточкин, 1991/.

Решение указанных задач может привести к получению качественно новой информации* /Берлянт, 1975, 1987/, что имеет важное прикладное значение. Это положение удачно иллюстрирует так называемый "конус разрешения" /Muehrcke, 1972/ (рис. 1) и понятие о четырех уровнях генерализации /Jenks, 1981/ (рис. 2). Однако, в силу изложенных в четвертой части настоящей работы объективных причин, методология целевой генерализации разработана еще недостаточно, и при ее проведении широко используется алгоритмический аппарат масштабной генерализации.

Факторами, влияющими на проведение как масштабной, так и целевой генерализации, являются: а) масштаб составляемой карты; б) ее назначение и предполагаемый способ чтения; в) ее тематика; г) особенности предмета картографирования; д) степень его изученности и уровень классификации; е) техника оформления карт

* Некоторые ученые отрицают возможность получения с помощью генерализации новых знаний /Бугаевский и др., 1986/.

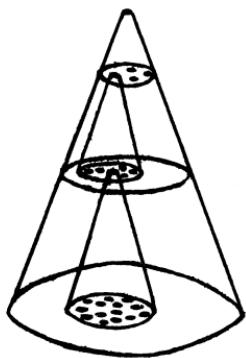


Рис. 1. Иллюстрация процесса генерализации с помощью "конуса разрешения" /Muehrcke, 1972/.

ты /Kretschmer, 1978; Справочник по картографии, 1988/.

Операции картографической генерализации могут быть сгруппированы следующим образом: 1. Отбор (исключение) дискретных элементов содержания карты. 2. Упрощение элементов линейного типа. 3. Упрощение элементов площадного типа. 4. Упрощение трехмерных объектов и распределений (поверхностей). 5. Обобщение количественных и качественных характеристик картируемых объектов, явлений и процессов. 6. Смещение, преувеличение и объединение дискретных элементов содержания карты /Салищев, 1990 с изменениями/.

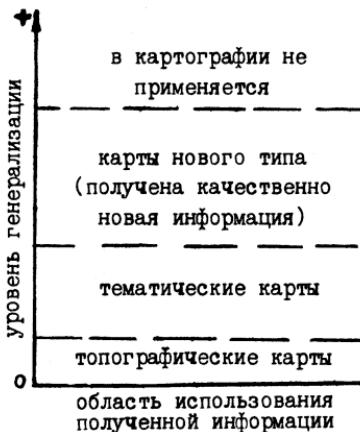


Рис. 2. Концепция четырех уровней картографической генерализации /Jenks, 1981/.

РЕТРОСПЕКТИВА КОНЦЕПТУАЛЬНЫХ СХЕМ КАРТОГРАФИЧЕСКОЙ ГЕНЕРАЛИЗАЦИИ

Генерализация как форма научной абстракции. Генерализация имеет место не только в картографии. Это - центральное понятие моделирования в науке, искусстве и технике. Генерализация является формой научной абстракции /Геттнер, 1930; Баранский, 1946; Комков, 1951; Сухов, 1957; Muehrcke, 1972; Салищев, 1975б/. Соотношению абстрагирования и генерализации посвятил значительную часть монографии А.Ф.Асланиашвили /1974/, выделяя в генерализации картографическую форму абстрагирования пространства и обычную логическую форму обобщения содержания отображаемой информации.

Картографическая генерализация и зрительное восприятие. Работа с картой есть процесс зрительного восприятия картографичес-

ких образов /Keates, 1973/. По мнению R.Argheim /1976/, при распознавании любого изображения имеет место его генерализация – то, что сохраняется в памяти человека. Важность моделирования картографической генерализации как процесса восприятия изображения подчеркивал В.М.Богинский /1966/.

Картографическая и дистанционная генерализации. Одним из первых, кто обратил внимание на аналогию между генерализацией и уменьшением разрешающей способности восприятия изображения при удалении от объекта, был M.Eckert /1921/. Он считал, что генерализованная карта должна выглядеть так же, как негенерализованная, рассматриваемая с некоторого расстояния. К.А.Салищев /1939/ назвал данный подход механистическим. Однако, значительное число исследователей считало, что к объяснению понятия генерализации и моделированию этого процесса весьма удобно подходить с помощью описания механизма дистанционной /Берлянт, 1987/ (естественной, космической, оптической – по другим источникам) генерализации, при которой главным фактором, влияющим на формирование изображения, является размер объекта /Геттнер, 1930; Степпе, 1937; Комков, 1951; Костриц и др., 1958; Ратайский, 1975/. Заметим, что явление дистанционной генерализации изучено весьма подробно /напр., Смирнов, 1965, 1975, 1982; Скарягин, 1973; Богомолов, 1974, 1976; Григорьев, 1975; Гонин, Яковлев, 1976; Виноградов, 1976; Брюханов и др., 1977; Кравцова, 1977; Визуальные методы..., 1990/. Г.Б.Гонин /1980/ опубликовал математическую модель дистанционной генерализации, в основе которой лежит изменение пространственного разрешения.

Вопросы практического использования результатов дистанционной генерализации, прежде всего – в геологическом картировании, а также для контроля результатов картографической генерализации рассматривали И.П.Заруцкая /1965/, С.Коеман /1970/, Д.Голд с соавт. /1975/, В.И.Кравцова /1977/, В.Н.Брюханов /1983/ и другие авторы.

Генерализация и теория информации. J.C.Sherman /1961/ указывал, что картографам надо быть знакомыми с работами по теории информации, в частности – с понятием "шума". В картографии этот термин должен означать нефункциональные элементы, засоряющие изображение. По мнению этого автора, снижение избыточности информации, сепарация полезного сигнала и шума в картографии являются процессом генерализации.

Впервые использование аппарата теории информации для моделирования генерализации осуществил В.И.Сухов /1950/, опубликовав ряд формул, в самом общем виде описывающих этот процесс (см.

также /Сухов, 1957/. В основе работы *W.Weber /1977/* лежит вычисление объема семантической информации конкретных картографических элементов, использование аппарата теории информации, а также общепринятых подходов к анализу карт. Трудность в том, что элемент карты может обладать несколькими типами семантической информации. *W.Weber /1982/* признавал, что корректное моделирование картографической генерализации на основе теории информации – процесс чрезвычайно сложный. Видимо, с этим связано небольшое число работ этого направления /Тетерин, 1987; Лебедев, 1990/.

Другие подходы. Подробная качественная концепция картографической генерализации была дана в монографии *H.J.Steward /1974/*.

F.Hoffmann /1971, 1974/, Ф.Хоффманн /1972/ описал кибернетическую модель генерализации и выделил три ее вида: селектирующую (отбор и обобщение), интегрирующую (объединение и упрощение) и дифференцирующую (назначение карты, значение картируемых объектов). Модель, основанную на аппарате теории игр, разработали *А.С.Васмут и В.А.Вергасов /1974/. U.Franke /1974/* использовал для этой цели аппарат теорий графов и множеств. Кибернетическую модель генерализации представили *M.Nájek et al. /1974/*.

G.Hake /1975, 1982/, создавая концептуальную схему картографической генерализации, различал геометрическую, концептуальную и временную генерализации с одной стороны, и объективную и реальную – с другой. *Е.Е.Ширяев /1977/* выделил масштабную и целевую генерализации. *А.С.Васмут /1983/* (см. также /Васмут и др., 1991/) различает три стороны генерализации – гносеологическую, смысловую и формальную. Развивая представления *А.Ф.Асланиашвили /1974/,* этот автор детально анализирует процессы понятийно-содержательного и пространственно-структурного абстрагирования.

Г.А.Евстафьев и М.И.Игнатов /1987/ основывают проведение картографической генерализации на аппарате факторного анализа.

K.E.Brassel, R.Weibel /1988/ в концептуальной схеме генерализации, ориентированной на эвристические картографические системы, различают статистическую и картографическую генерализации. Первая предназначена для сжатия данных, пространственного анализа и представляет собой в целом процесс фильтрации, основным критерием качества которого является минимальное среднее смещение элемента содержания карты. Второй тип генерализации, по мнению этих авторов, представляет собой пространственное моделирование для визуальной коммуникации, критерий ее качества – читаемость карты; она основана на операциях отбора, смещения, подчеркивания и преувеличения.

R.B.McMaster /1989a/ считает, что корректное моделирование

процесса генерализации возможно при ответе на три вопроса:
1. Почему необходима генерализация карты, т.е. определение цели создания карты, ее назначения. 2. В каких условиях проходит процесс генерализации, т.е. выяснение специфики исходного картографического изображения. 3. Как проводить генерализацию, т.е. определение оптимальных операций и конкретных алгоритмов, реализующих процесс. Моделирование ответов на второй и третий вопросы - тема работы *K.S.Shea, R.B.McMaster /1989/*.

И.В.Флоринский /1991/ опубликовал концептуальную схему генерализации карт областей конвергенции и дивергенции топографической поверхности.

МЕТОДЫ МАСШТАБНОЙ ГЕНЕРАЛИЗАЦИИ

Период интуитивных представлений. Термин "генерализация" в картографию ввел, по-видимому, Э. фон Сидов (Германия) в 1857 году /по Sirko, 1988/. M.Eckert /1908/ определил картографическую генерализацию как интуитивно-субъективный процесс, протекание которого зависит от компетентности и художественного вкуса исполнителя. Аналогичных взглядов придерживались E.A.Reeves /1910/, A.Геттнер /1930/, A.R.Hinks /1933/, C.H.Deetz /1936/, E.Raisz /1938, 1962/, A.Райков /1946/, D.Greenhood /1964/. Субъективизм при генерализации считался не недостатком, а преемственным картосоставления /Имгоф, 1940; Imhof, 1963/. Н.Н.Баранский /1946/ критиковал начавшийся процесс создания алгоритмов генерализации: "тенденция - заменить инструкциями мозги работников, занятых генерализацией... карт, - несомненно существует".

Первый качественный подход к описанию алгоритмов генерализации был осуществлен M.Eckert /1921, 1925/. Он ввел понятие степени генерализации, сделал первые попытки статистически определить ее значение и описать процесс генерализации транспортной сети. В дальнейшем исследования по алгоритмизации генерализации развивались по двум основным направлениям - топографического и тематического картографирования*.

Основным достижением первого направления явилась коллективная монография "Основы генерализации..." /1955/, которой предшествовал ряд работ /Степпе, 1937; Сергеев, 1939; Филиппов, 1946; Лидот, 1948; Херсонский, 1951; Соколов, 1951; Звонарев, 1951; Основы редактирования..., 1952/. Многочисленные последующие публикации /Kuligowski, 1957; Костриц и др., 1958; Lundqvist, 1959;

* Фундаментальным обзором качественных подходов к алгоритмизации генерализации является монография N.J.Steward /1974/.

Pannekoek, 1962, 1963; Knor, 1962; Podlacha, 1966; Generalization ..., 1966; Dixon, 1967; Ciesielski, 1968; Гараевская, 1971; Pawlak, 1972; Картография..., 1973; Рехтзамер, 1974; Kretschmer, 1980; Вахрамеева, 1981; Cuff, Mattson, 1982; Imhof, 1982; Салищев, 1982б; Билич, Васмут, 1984/ существенной новизны в решение проблемы не внесли.

В тематической картографии использовались как подходы к генерализации топографических карт /Преображенский и др., 1961/, так и методы, разработанные для конкретных типов карт, исходя из того, что каждый вид информации обладает специфическими особенностями, что требует индивидуальных подходов. Проблема генерализации тематических карт в целом освещалась в работах А.Г.Исаченко /1958/, M.J.Mallet /1962/, O.M.Miller, R.J.Voskuil /1962, 1964/, И.П.Заруцкой /1965, 1966/, I.Kretschmer /1980/, И.П.Заруцкой и Н.В.Красильниковой /1988, 1989/. Вопросы генерализации геологических карт рассматривались Н.В.Красильниковой /1961/, геоморфологических - Н.В.Башениной, И.П.Заруцкой /1963/, А.Н.Ласточкиным /1991/. В.И.Кветкаускас /1972/ писал о необходимости изучения вопросов генерализации карт крутизны и вертикальной кривизны топографической поверхности. Генерализации карт растительности посвящена статья P.Ray /1963/, коммуникационных сетей - G.Lundqvist /1963/, ручной отмывки рельефа - F.Hölzel /1963/. Вопросы генерализации ландшафтных карт рассматривались Н.Н.Смирновым /1961/, А.А.Видиной /1963/, Н.В.Фадеевой /1963/, И.И.Мамаем /1970/ и Ш.К.Азизовым /1982/, почвенных карт - Л.С.Долговой /1980/ и Н.А.Лошаковой /1988/. Сопоставимости серий различных по тематике карт и их генерализации в этой связи посвящена работа Л.М.Бюшгенс и Ю.Г.Кельнер /1968/. Оценка качества ручной генерализации - тема статьи W.C.Watson /1970/.

Использование качественных подходов к генерализации карт сохраняло невоспроизводимость ее результатов, причем отрицательная сторона этого факта признавалась не всеми. Если H.Weymar /1959/ призывал к скорейшей формализации процесса генерализации, то К.А.Салищев /1975а, 1990/, отмечая ее возможность, считал это нецелесообразным: "картограф при взгляде на карту способен воспринимать и мысленно учитывать разнообразные связи, для которых трудно или... невозможно найти математическую зависимость ради обоснования автоматизации процесса...".

Конечно, "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 критери-

ев" /Ширяев, 1984/. В этой ситуации "приходится полагаться на художественное чутье, поскольку, стыдно признать, что он (картограф - И.Ф.) не имеет научного обоснования для ответа на эти вопросы" /Робинсон, 1975/. Использование качественных методик приводит к появлению на карте ложной информации, такие подходы целесообразно применять для составления популярных и учебных карт /Ширяев, 1984/.

"Количественная революция" /Muehrcke, 1972/ в картографии в середине шестидесятых годов ускорила процесс формализации алгоритмов генерализации, начавшийся несколько ранее*.

Отбор дискретных элементов содержания карты**. В 1940 году Н.И.Шилов /по Комков и др., 1958/ использовал приближенную эмпирическую формулу для отбора населенных пунктов:

$$K = P/2 + 40, \quad (1)$$

где K - среднее количество населенных пунктов на 1 дм^2 карты, P - средняя плотность населения на 1 км^2 .

В.И.Сухов /1947/ получил для этой цели эмпирическую формулу следующего вида:

$$v_i = a_i q_i / 10^{12} M^{12}, \quad (2)$$

где v_i - норма отбора населенных пунктов i -ой градации, a_i - коэффициент отбора, показывающий, какая их доля имеется на карте, q_i - плотность населенных пунктов i -ой градации на 100 км^2 , M - масштаб карты.

* В целом вопросы количественных подходов к генерализации рассмотрены в обзорах К.Е.Brassel, R.Weibel /1988/ и M.Sirko /1988/. Кроме того, можно упомянуть текущие обзоры А.С.Васмута /1970/, К.А.Салищева /1972, 1982а/, А.И.Мартыненко /1972, 1974/, M.Monmonier /1982а/, F.Töpfer /1985/, а также работы M.S.Monmonier /1982в/ и С.Н.Сербенюка и В.С.Тикунова /1984/. Заметим, что неоднозначное восприятие картографами количественных подходов к генерализации отчетливо видно в некоторых монографиях и учебниках /напр., Комков и др., 1958; Волков, 1961; Егоров и др., 1962; Robinson, Sale, 1969; Keates, 1973; Hake, 1982; Campbell, 1984; Basic cartography..., 1988/, где публикуются как качественные, так и количественные алгоритмы.

** Обзор алгоритмов отбора дискретных элементов проведен C.Board /1971/.

А.В.Бородин /1948/ использовал формулу

$$C = A - p/P, \quad (3)$$

где С - норма отбора населенных пунктов, А - общее количество жителей на единицу площади карты, р - площадь условного знака населенного пункта, Р - общая площадь условных знаков поселений, подлежащих изображению на единице площади карты.

В.В.Иванов /1964/ называл регламентирующими отбор поселений факторами норму нагрузки карты, классификацию населенных пунктов, определяющую порядок отбора, а также ценз минимального расстояния между двумя населенными пунктами, принадлежащими к соседним градациям. В этом же направлении проводились исследования А.Накек /1965/ и Г.Несс /1968/.

Н.Кадмон /1972/ разработал метод отбора населенный пунктов, включающий классификацию поселений по шестнадцати восьмиранговым признакам (число жителей, административный статус и пр.) и определение общего ранга населенного пункта, равного сумме 16 частных рангов. Задавая пороговое значение общего ранга, проводится отбор. Для каждого критерия могут использоваться значения веса, что целесообразно при составлении узкотематических карт.

Д.Нойманн /1972/ получил следующую формулу для отбора дискретных элементов:

$$C_{\text{ген}} = b C_{\text{исх}} + a, \quad (4)$$

где $C_{\text{ген}}$, $C_{\text{исх}}$ - число дискретных элементов на генерализованной и исходной картах соответственно, b - фактор уменьшения, $b < 1$, $a = I - b$.

Широкое распространение получил "закон радикала" /Töpfer, Pillewizer, 1966/. В общем виде он записывается как

$$N_f = N_a C_b C_z \sqrt{M_a/M_f}, \quad (5)$$

где N_f , N_a - нагрузки составляемой и исходной карт соответственно, M_a , M_f - знаменатели масштабов исходной и составляемой карт соответственно, C_b - значимость объекта, C_z - коэффициент нагрузки карты, зависящий от соотношения размеров условных знаков. Успешное использование этого подхода демонстрировали F.Töpfer /1974в/, H.Uhrig /1972/, I.Kretschmer /1978/, C.B.Jones, I.M.Abraham /1987/. Наиболее фундаментально его применение рассмотрено в монографии F.Töpfer /1974а/.

Другой популярный подход разработан Е. Srnka /1967, 1970а, в, 1974/. Отбор элементов точечного и площадного типа проводится по формуле

$$n(P_{oi})\% = a_{oi} n^{-b_{oi}}(P_o), \quad (6)$$

где $n(P_o)$ - число элементов на единицу площади P_o на исходной карте, $n(P_{oi})\%$ - процент от исходного числа элементов на единице площади генерализованной карты, a_{oi} - параметр, определяющий общий уровень отбора, b_{oi} - экспоненциальный параметр, определяющий различный уровень отбора для разной плотности элементов.

Отбор элементов линейного типа осуществляется по формуле:

$$n(P_{oi})\% = a_{oi} n^{-b_{oi}}(P_o) h \varepsilon_{oi}(P_o), \quad (7)$$

где $h(P_o)$ - длина элементов линейного типа на единице площади исходной карты, a_{oi} , b_{oi} - см. пояснения к формуле (6), ε_{oi} - экспоненциальный параметр, определяющий изменение в уровне отбора как функции длины элементов линейного типа на единицу площади исходной карты. Формулы (6, 7) использовали, например, М. Нажек /1972/ и Р. Ковачик /1984/.

Заметим, эти подходы, отвечая на вопрос "каков уровень (норма) отбора", не дают ответа на вопрос "что именно подлежит отбору".

Р. Hoffmann /1971, 1974/, Ф. Хоффманн /1972/ разработал кибернетическую модель отбора извилин речной сети. В качестве критерия отбора озер Л. Бауэр /1973/ использует значение среднеарифметического расстояний между центральной точкой и всеми точками экстремумов кривизны контура. А. В. Бородин и В. М. Богинский /1973/, А. В. Бородин /1976/ приводят эмпирические шкалы норм отбора элементов точечного, площадного и линейного типов, а Т. В. Давыдкина и В. М. Богинский /1974/ публикуют nomogramмы отбора для гидросети, позволяющие учитывать ее густоту. Эти подходы были реализованы в программном обеспечении группой авторов /Разработка программы..., 1981/.

В. И. Сухов и М. Е. Надеждина /1975/ приводят следующее условие отбора дискретной информации:

$$N = \begin{cases} k^{-2} q, & \text{при } R \geq 1 \\ N_p / r, & \text{при } R < 1 \end{cases} \quad (8)$$

где N - норма отбора, k - коэффициент перевода к заданному масштабу.

табу, $k = 10^6 m$, где m - масштаб карты, q - густота объектов, r - площадь условного обозначения объектов, N_{pr} - предельная площадная нагрузка, R - условие отбора объектов, $R = N_{pr}/N_{em}$, где N_{em} - емкость карты.

Отбор дискретных элементов в диалоговом и автоматизированном режимах описывает F.Christ /1975, 1976/.

Б.В.Серапинас /1978/ вывел формулу, которая может быть использована при установлении цензов и норм отбора:

$$M = N(n/(1+n) + 1 \exp(-(1+n)(t-1)/(1+n))), \quad (9)$$

где M , N - количество однотипных объектов, отображаемых на картах масштабов m и m_0 соответственно, n , l - неотрицательные постоянные, $t = m_0/m$.

W.Lichtner /1978, 1979a, в/ проводит отбор элементов линейного типа, если их длина меньше некоторой величины; условные обозначения отдельных строений подлежат отбору по критерию величины их площади. Аналогичного подхода придерживаются Б.В.Соловицкий /1978/ и В.Ю.Нешатаев /1989/.

Упрощение элементов содержания карты линейного типа*. Основное внимание исследований в области картографической генерализации всегда было сосредоточено на формализации упрощения картографических кривых; здесь картография соприкасается с такими областями знания как распознавание образов и компьютерная графика /Thapa, 1988a/. Интерес к алгоритмам этого типа не случаен: до 80% условных обозначений на картах - элементы линейного типа. В настоящее время существуют различные подходы к классификации разработанных алгоритмов /Douglas, Peucker, 1973; Павлова, 1978; Weber, 1982; Васмут, 1983; McMaster, 1987, 1989a, в/, единого подхода не существует. В нашей работе мы придержимся разделения всех алгоритмов упрощения линейных элементов на два класса. К первому относятся подходы, реализующие отбор определенных (характерных, особых) точек кривой и последующую интерполяцию по ним ее упрощенной версии. Второй класс объединяет приемы, основанные на равнозадачной обработке всех точек генерализуемой линии при некотором шаге ее дискретизации.

Наиболее тривиальный способ упрощения кривой - исключение из нее каждой n -ой точки, где n - функция уменьшения масштаба - был описан W.R.Tobler /1965/. Однако, использование этого подхода не

* Вопросам генерализации линейных элементов посвящены обзоры D.W.Rhind /1973/, R.B.McMaster /1987a/ и K.Thapa /1988a/.

гарантирует сохранения индивидуальных характеристик кривой (общего характера кривизны). Большинство описанных ниже приемов реализует определение характерных точек кривой и сохранение их положения неизменным при аппроксимации других точек.

В.В.Иванов /1965/ описал метод упрощения кривой с помощью отбора ее извилин (участков кривой, определяемых тремя соседними точками с экстремальным значением кривизны). Каждые три точки образуют треугольник, характеризуемый длинами основания и высоты. Отбору подлежат извилины, характеристики треугольников которых меньше пороговых значений, задаваемых пользователем. Исключенная извилина заменяется либо прямолинейным отрезком, либо дугой окружности, либо кривой меньшей кривизны. Модифицированную версию алгоритма представил П.Баузэр /1973/, использующий для аппроксимации извилин последовательности полиномов 2 степени.

A.R.Boyle /1970/ описал подход, включающий: а) выбор шага дискретизации кривой n ; б) проведение вектора с длиной I/n и направлением к n -ой точке; в) следующий вектор длины I/n проводится из последней точки первого вектора к точке $n+1$; г) повтор операций. Генерализованная линия представляет собой серию векторов.

U.Ramer /1972/ и D.H.Douglas, T.K.Reucker /1973/ независимо разработали следующий подход: а) на кривой выделяются "закрепленная" и "плавающая" точки, определяющие прямой отрезок; б) вычисляется величина максимального расстояния от оригинальной кривой до полученного отрезка; если данная величина не превышает пороговое значение, принимается, что отрезок может аппроксимировать данный участок кривой; в противном случае "плавающая" точка переносится на точку, для которой проводилось тестирование; в) после успешного выполнения теста "закрепленная" точка переносится на "плавающую" и описанные операции повторяются. Этот алгоритм весьма популярен в компьютерной картографии и известен как метод Douglas-Peucker. С.В.Jones, I.M.Abraham /1987/ использовали его для конструирования масштабно-независимой картографической базы данных. J.D.Whyatt, P.R.Wade /1988/ опубликовали три компьютерных программы, реализующих этот метод. При создании пакета эвристической генерализации его использовал B.G.Nickerson /1988/. Ряд исследователей /Marino, 1979; White, 1985; McMaster, 1987b/ на основе сравнительного анализа группы алгоритмов приходят к выводу о целом ряде преимуществ данного подхода.

D.M.Brophy /1973/ называет индикатором кривизны участка исходной кривой угол в вершине треугольника, построенного на трех точках исходной кривой и определяемого радиусом вписанной в него окружности. Уменьшая радиус, происходит упрощение исходной линии.

Упрощение кривых с использованием в качестве характерных точек локальных минимумов и максимумов ее кривизны представлено в работах Т.М. Johansen /1974/ и З. Ли /1988/.

Критерием отбора извилин кривой Б.В. Соловицкий /1974/ называет величину угла в вершине треугольника, определяющего извилину.

Аналогичное алгоритму Douglas-Peucker решение предложил В. Вебер /1978/, но величина порогового значения для тестируемого расстояния адаптируется при локальных изменениях плотности информации на карте. Программная реализация выполнена Н. Uhrig /1979/.

Н. Офием /1982/ разработал алгоритм, по которому определение характерных точек осуществляется с помощью полосы сложной формы, перемещаемой вдоль участка кривой параллельно касательной с исходной точке до пересечения границы полосы с кривой. Затем полоса перемещается в направлении касательной в точке пересечения. Точки кривой, где произошло пересечение, являются характерными.

Г. Деттори, В. Фальцидиено /1982/ описали алгоритм отбора "особых" точек линии, включающий: а) определение цензовой полосы; б) установление ее вдоль участка кривой; в) выяснение, укладываются ли данный участок в пределы полосы; г) если условие выполняется, из всех точек данного участка сохраняется лишь две экстремальных. Алгоритм использовался Ф. В. Леберль et al. /1986/.

Ю. В. Свентэк /1986/ критерием существенности точки i кривой называет величину медианы, опущенной из точки i на отрезок, соединяющий точки $i-1$ и $i+1$.

Среди алгоритмов упрощения элементов линейного типа, относящихся ко второму классу, первым назовем подход, известный как метод скользящего среднего или усреднения по окрестности /Koeman, Van Der Weiden, 1970/, при котором для построения сглаженной линии используются усредненные значения координат точек оригинальной кривой. Шаг дискретизации зависит от уровня сглаживания. Исследования в этом направлении проводились для линий, заданных как в векторном /Gottschalk, 1974a, в/, так и растровом форматах /Gottschalk, 1981/. Метод скользящего среднего реализован, например, в пакете прикладных программ Н. Uhrig /1979/.

Использование полинома Чебышева для сглаживания картографических кривых инициировал Р. Тост /1972/. Л. Стегена /1974/ применил низкочастотную фильтрацию (Фурье-преобразование) для генерализации картографических линий и реализовал ее в оптическом аналоговом варианте. Р. Vanicek, D. F. Woolnough /1975/ использовали для упрощения линий на карте их преобразование в псевдогиперболу:

$$y = (C_1x + C_2)/(x + C_3), \quad (10)$$

причем все точки таких аппроксимированных кривых лежат в полосе определенной ширины.

G.Schweinfurth /1981, 1984/ и T.J.Deveau /1986/ для упрощения линейных элементов, заданных в растровом формате, применяли алгоритм, включающий утолщение линии с помощью свертки исходной функции изображения кривой $G(x-k, y-l)$ с фильтром

$$f(k, l) = ((2m+1)(2n+1))^{-1}, \quad -m < k < m, \quad -n < l < n, \quad (II)$$

и определения центральной линии (остова) полученного изображения, которая является сглаженной версией кривой. Упрощение линейных элементов при использовании оставов их изображений описывает U.Meyer /1986/.

Применение сплайн-функций для упрощения элементов линейного типа реализовано N.Frančula i dr./1981/. B.Buddenfield /1985/ говорит об эффективности генерализации линейных элементов с помощью B-сплайнов и функции Bezier:

$$P(t) = \sum_{i=0}^n P_i n! t^i (1-t)^{n-i} / i! (n-i)! \quad (I2)$$

K.Thapa /1988b, c/ применил известный в теории зрения фильтр - лапласиан функции Гаусса - для генерализации линейных элементов, заданных в векторном и растровом форматах.

C.Boutoura /1989/ представила подход, включающий: а) вычисление первой производной $f'(x)$ от функции $f(x)$, описывающей картографическую кривую; б) определение с помощью быстрого Фурье-преобразования спектра функции $f'(x)$; в) низкочастотную фильтрацию полученного спектра; г) обратное Фурье-преобразование для получения отфильтрованной функции $f''(x)$; д) инверсию функции $f''(x)$: получение генерализованной функции $f^c(x)$.

Максимальное распространение среди алгоритмов второго класса получил метод скользящего среднего. Отметим, что вопросы качества алгоритмов генерализации линейных элементов рассматривали R.B.McMaster /1986/, M.S.Monmonier /1986/ и С.Н.Сербенюк с соавт. /1990/.

Упрощение элементов площадного типа. Для этой цели, в принципе, могут быть использованы алгоритмы упрощения линейных элементов. При этом с элементом площадного типа отождествляется его контур. Однако, в ряде случаев целесообразно использовать алгоритмы, ориентированные непосредственно на площадной элемент.

Алгоритм "эпсилон-фильтрации" был разработан J.Perkal /1958/. Если рассматривать на плоскости область Δ и окружность радиуса

ϵ , свободно перемещающуюся внутри области D , но не пересекающую ее границ, то множество точек A области D может принадлежать данной окружности, а множество точек B - не обладает таким свойством. Множество A является генерализованной областью D_g .

Е.Е.Ширяев /1972/ считал, что форма контура может быть произвольно изменена, но необходимо сохранение тождественности суммарной длины границы контура и его площади.

Использование низкочастотной фильтрации для генерализации элементов площадного типа было инициировано Е.А.Wingert /1974/. Н.-J.Gottschalk /1975/ применил для этой цели метод скользящего среднего.

W.Lichtner /1978, 1979a, в/ рассмотрел вопросы упрощения контуров строений на топографических картах в диалоговом режиме. Его подход использовали F.W.Leberl et al. /1986/. Диалоговая генерализация элементов площадного типа на примере обработки кадастровых карт рассмотрена M.D.Henning, D.Hargreaves /1983/.

Для генерализации элементов площадного типа, заданных в растровом формате, часто используется отбор каждой n -ой точки столбца и m -ой точки строки массива данных и построение остова изображения /Comeau, Holbaek-Hanssen, 1983/. На примере генерализации данных о лесных угодьях H.-G.Lay, W.Weber /1983/ показали эффективность алгоритма, по которому к контуру площадного элемента добавляется полоса определенной толщины, при этом часть элементов сливается. Затем по критерию толщины образовавшихся перемычек проводится удаление тех из них, которые не превышают некоторое пороговое значение.

В.Ј.Oomen, R.L.Kashyap /1983/ представили следующий метод сглаживания элементов площадного типа: а) задается область d_1 с радиусом g , определяющим степень генерализации; б) рассматривается взаимное положение области d_1 с центром в n -ой точке многоугольника и прямого отрезка $[n-1; n+1]$; если отрезок пересекает область d_1 , то точка n исключается из дальнейшего рассмотрения, а треугольник с вершинами в изучаемой триаде точек заменяется отрезком $[n-1; n+1]$; в) если отрезок не пересекает область d_1 , точка n заменяется на точку m , лежащую на границе области d_1 , причем бисектор угла $n-1; m; n+1$ нормален к границе d_1 .

M.S.Moummier /1983/ выделил девять основных подходов к генерализации элементов площадного типа: исключение многоугольников с нежелательными свойствами, градирование весовых значений для категорий землепользования и др. Так, J.Ostrowski /1986/ использует подход, где доминирует исключение элементов, площадь которых не превышает порогового значения. M.G.Mayers et al. /1988/

на примере составления карт типов землепользования приводят результаты генерализации исходной информации четырьмя способами: а) замена пикселов, несущих несущественную информацию, на сопряженные с ними информативные пиксели; б) то же плюс обобщение категорий землепользования в группы более высокого уровня классификации; в) присвоение квадрату $n \times n$ пикселов значения центрального пикселя этого квадрата; г) присвоение квадрату $n \times n$ пикселов значения преобладающих в данном квадрате пикселов.

Лапласиан функции Гаусса для генерализации элементов площадного типа на примере карт областей конвергенции и дивергенции топографической поверхности использовал И.В.Флоринский /1991/.

Упрощение трехмерных объектов и распределений (поверхностей).

Уровень относительной генерализации поверхностей, представленных в форме изолиний, G.S.P.Das /1964/ предложил оценивать по формуле

$$G = k d v, \quad (I3)$$

где k - постоянная, d - среднее расстояние от контролируемой точки изолинии до точки с известным значением z , v - среднее отклонение значения z в тестируемых точках.

W.R.Tobler /1966/ (статья воспроизведена в 1989 г.) разработал метод генерализации поверхностей посредством взвешенного скользящего среднего:

$$z_{ij}^c = \sum_{p=-k}^{p=k} \sum_{q=-k}^{q=k} w_{pq} z_{p+i, q+j} / \sum_{p=-k}^{p=k} \sum_{q=-k}^{q=k} w_{pq}, \quad (I4)$$

где $z_{p+i, q+j}$, z_{ij}^c - исходные и сглаженные значения функции, w_{pq} - вес. Возможна инверсия сглаживания практически без потери информации. Ввиду простоты математических процедур, данный подход получил большое распространение. Его использовали, например, W.Lichten /1978, 1979a, b/ для генерализации изогипс. Рис. 4 а-з, 5 а-з, 6 а-з иллюстрируют применение этого метода для обработки информации о гауссовой, горизонтальной и вертикальной кривизнах топографической поверхности (рис. 3) соответственно.

В описанном выше подходе значение веса постоянно. D.S.Connelly /1971/ предлагает метод, когда значение веса является функцией расстояния между точками z_{ij}^c и $z_{p+i, q+j}$.

D.W.Rhind /1971/ осуществляет упрощение формы горизонталей путем отбора каждой n -ой точки строки и m -ой точки столбца массива значений превышений. Иллюстрация этого подхода применительно к генерализации информации о гауссовой, горизонтальной и вер-

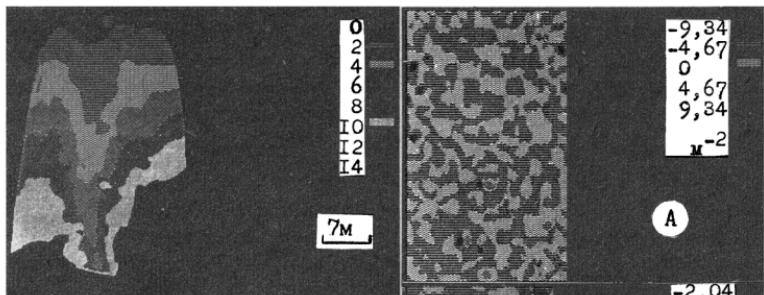
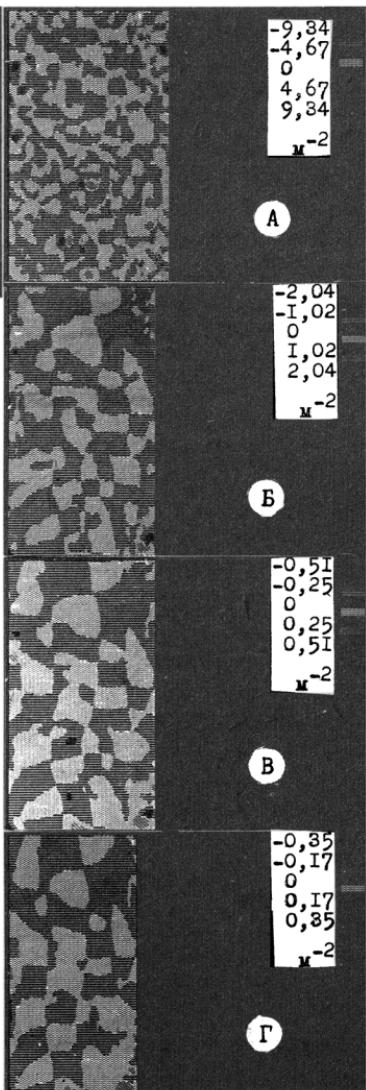


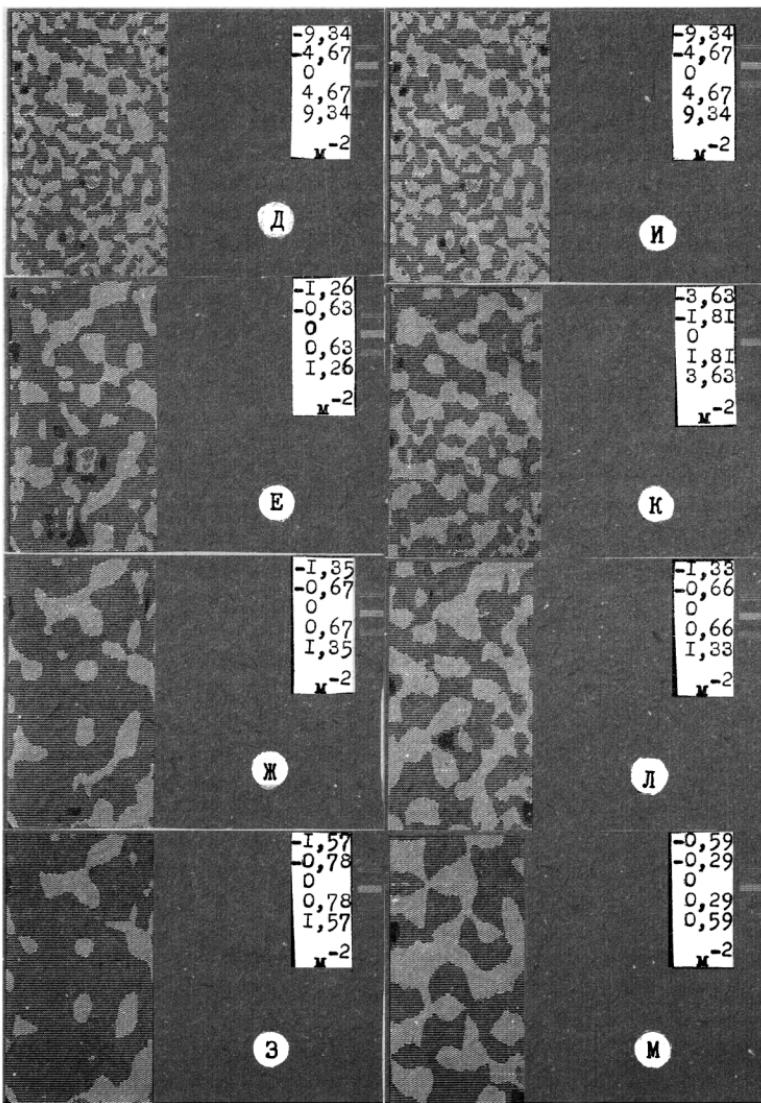
Рис. 3. Гипсометрическая карта отрога оврага Северный в г. Лушино (ЦМР см. в работе Г.А.Кураковой /1991a/)

Рис. 4. Иллюстрация трех подходов к генерализации информации о гауссовой кривизне топографической поверхности. Карты гауссовой кривизны, полученные в результате сглаживания скользящим средним на решетке 3x3 с периодом $P = 2$ м исходной топографической поверхности (рис. 3):

А - число сглаживаний $C = 0$,
 Б - $C = 1$, В - $C = 2$, Г - $C = 3$.
 Карты гауссовой кривизны, полученные в результате сглаживания скользящим средним на решетке 3x3 с $P = 2$ м исходной поверхности гауссовой кривизны топографической поверхности (рис. 3):
 Д - $C = 0$, Е - $C = 1$, Ж - $C = 2$,
 З - $C = 3$. Карты гауссовой кривизны, полученные в результате увеличения периода решетки Т 3x3 при измерении гауссовой кривизны исходной топографической поверхности (рис. 3): И - $T = 2$ м, К - $T = 3$ м, Л - $T = 4$ м, М - $T = 5$ м.



тической кривизнами топографической поверхности (рис. 3) предста-



влена на рис. 4 и-м, 5 и-м, 6 и-м соответственно.

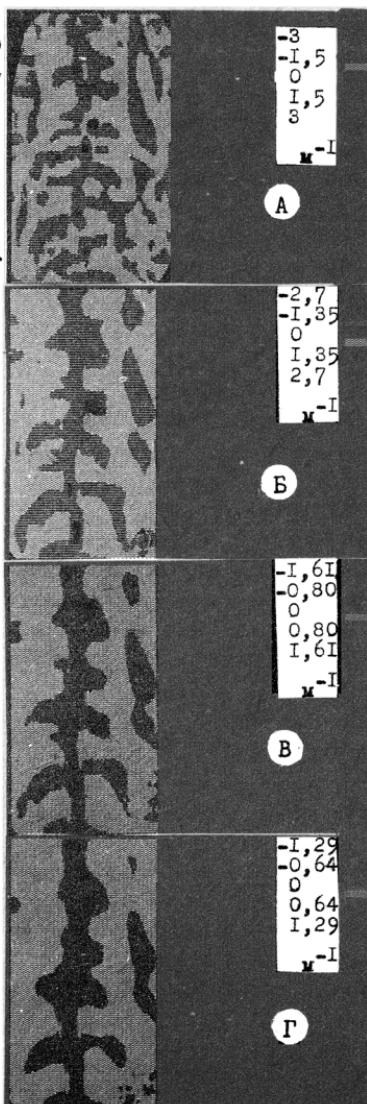
Если исходная цифровая модель трехмерного распределения нерегулярна, генерализация может быть осуществлена с помощью ее регуляризации, причем узловым точкам присваиваются интерполированные значения точек в некоторой окрестности данного узла. Область

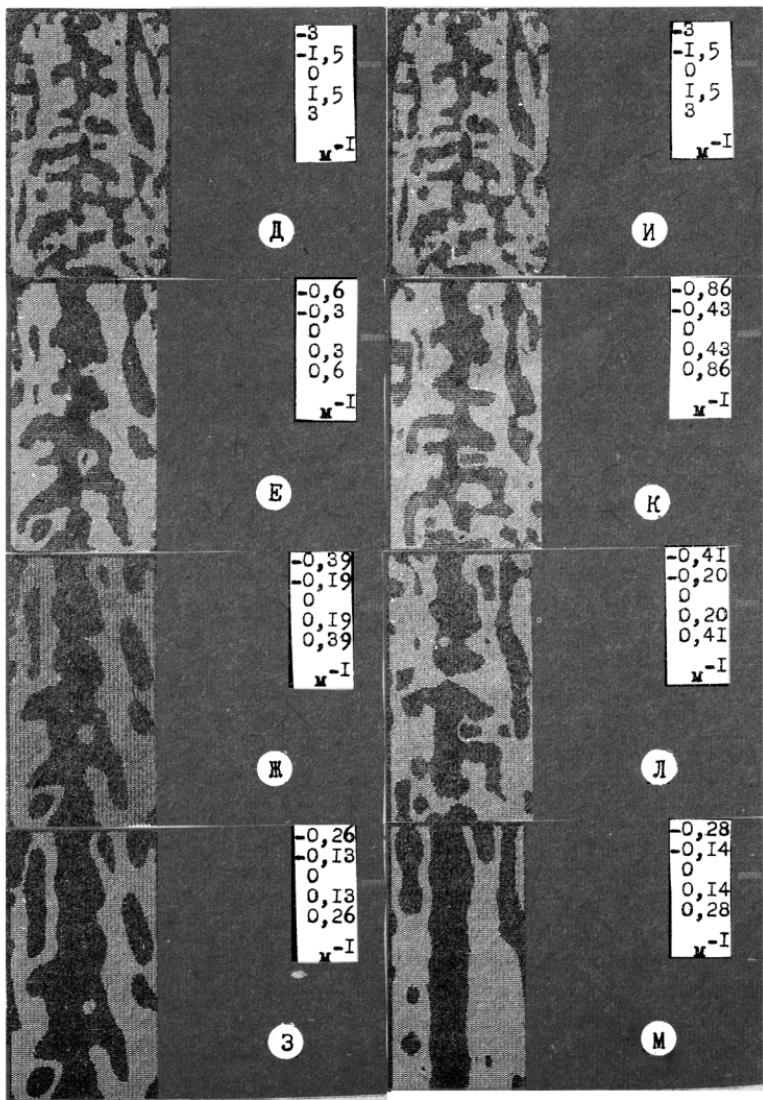
Рис. 5. Иллюстрация трех подходов к генерализации информации о горизонтальной кривизне топографической поверхности. Карты горизонтальной кривизны, полученные в результате сглаживания скользящим средним на решетке 3×3 с периодом $P = 2$ м исходной топографической поверхности (рис. 3): А - число сглаживаний $C = 0$, Б - $C = 1$, В - $C = 2$, Г - $C = 3$. Карты горизонтальной кривизны, полученные в результате сглаживания скользящим средним на решетке 3×3 с периодом $P = 2$ м исходной поверхности горизонтальной кривизны топографической поверхности (рис. 3): Д - $C = 0$, Е - $C = 1$, Ж - $C = 2$, З - $C = 3$. Карты горизонтальной кривизны, полученные в результате увеличения периода решетки T 3×3 при измерении горизонтальной кривизны исходной топографической поверхности (рис. 3): И - $T = 2$ м, К - $T = 3$ м, Л - $T = 4$ м, М - $T = 5$ м.

интерполяции может иметь форму как окружности, так и гексагона или квадрата. Последнее - оптимально, так как исключается возможность "потери" части точек, попадающих в неперекрывающиеся областями интерполяции зоны /Rhind, 1971/.

L. Stegenga /1974/ использовал для генерализации изогипс низкочастотную фильтрацию (Фурье-пробразование).

Генерализация информации о вертикальной кривизне топографической поверхности возможна при использовании ценза крутизны поверхности /Кошкарев, 1982/.

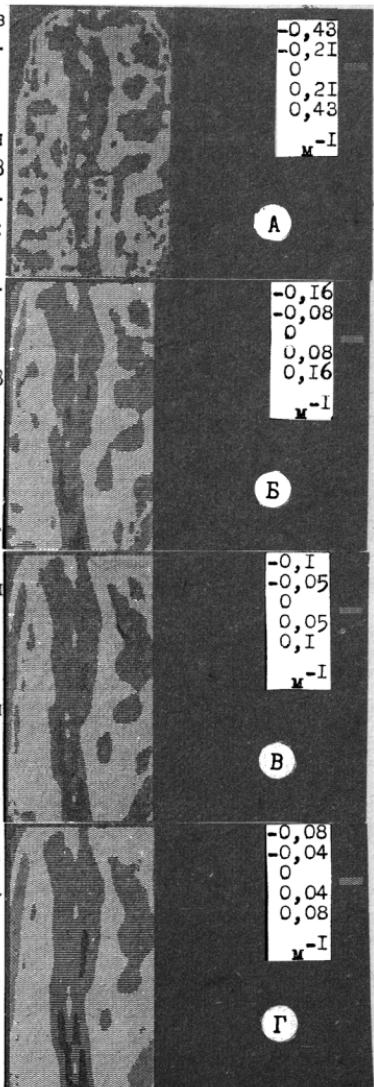




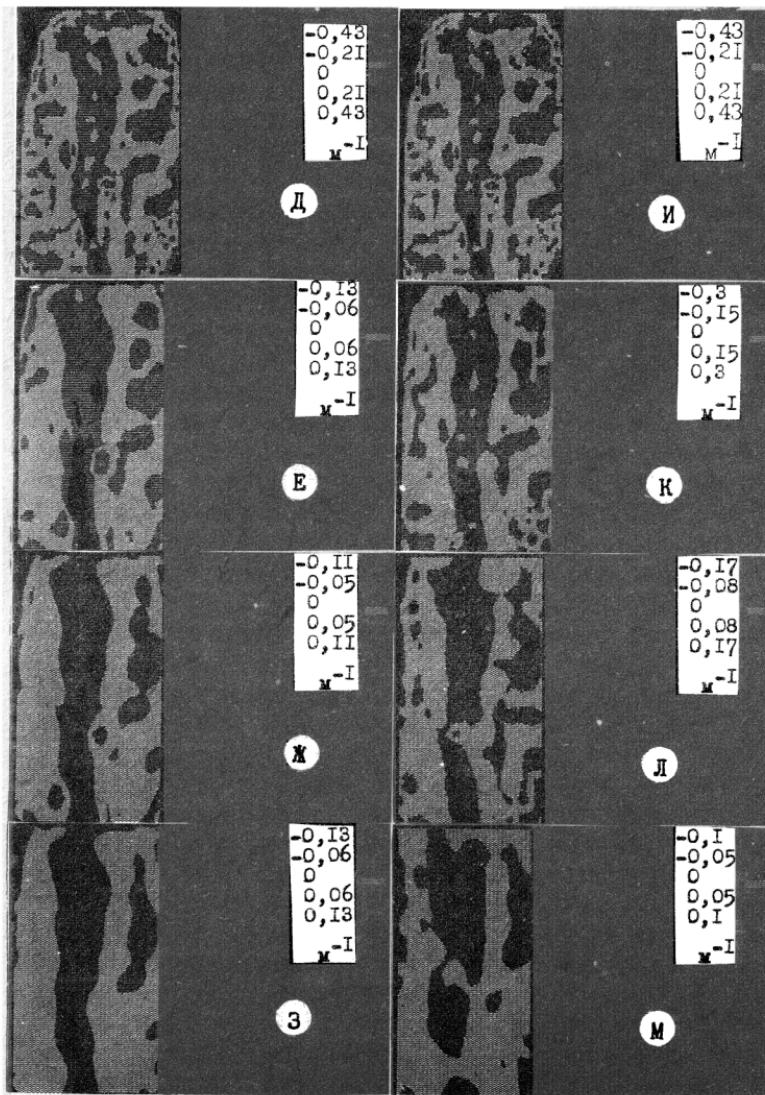
Н. В. Раро, Е. Гельбман /1984/ применили низкочастотную фильтрацию (быстрое Фурье-преобразование) цифровой модели рельефа (ЦМР) для построения генерализованных карт крутизны и аппроксимированной лапласианом высоты средней кривизны топографической поверхности.

Рис. 6. Иллюстрация трех подходов к генерализации вертикальной кривизны топографической поверхности. Карты вертикальной кривизны, полученные в результате сглаживания скользящим средним на решетке 3x3 с периодом $P = 2$ м исходной топографической поверхности (рис. 3): А - число сглаживаний $C = 0$, Б - $C = 1$, В - $C = 2$, Г - $C = 3$. Карты вертикальной кривизны, полученные в результате сглаживания скользящим средним на решетке 3x3 с $P = 2$ м исходной поверхности вертикальной кривизны топографической поверхности (рис. 3): Д - $C = 0$, Е - $C = 1$, Ж - $C = 2$, З - $C = 3$. Карты вертикальной кривизны, полученные в результате увеличения периода решетки T 3x3 при измерении вертикальной кривизны исходной топографической поверхности (рис. 3): И - $T = 2$ м, К - $T = 3$ м, Л - $T = 4$ м, М - $T = 5$ м.

Ряд исследователей /напр., Yoeли, 1983/ считают, что генерализация ЦМР должна проводиться с учетом геоморфологических особенностей данной территории, а не на основе чисто математических подходов, так как полагают, что топографическая поверхность свободна от какой-либо математической регулярности*. Так, J.Denègre /1972/ пишет, что учет типа местности осуществляется при сохранении в процессе генерализации характерных линий рельефа. H.-h.Wu /1981/ разработал алгоритм, по которому главным критерием при



* Такое обоснование сомнительно. Определенная упорядоченность проявляется даже на уровне микрорельефа (см., например, рис. 4).



упрощении ЦМР являются длины водоразделов и тальвегов. G.W.Wolf /1984/ для генерализации ЦМР путем исключения "несущественных" депрессий и холмов применил теорию графов.

Обобщение количественных характеристик картируемых объектов, явлений и процессов при уменьшении числа уровней квантования

трехмерных распределений - тема работы G.F.Jenks /1963/. J.C.Muller, J.L.Honsaker /1983/ изучили вопрос обобщения качественных характеристик картируемой информации путем преобразования ее классификации.

Смещение, преувеличение и объединение дискретных элементов.

В настоящем обзоре мы не будем подробно останавливаться на этих вопросах. Укажем лишь, что их изучали H.-J.Gottschalk /1972/, T.M.Johansen /1974/, A.Berger /1976/, F.Christ /1976, 1978/, R.Schittenhelm /1976, 1978/, W.Lichtner /1977, 1978, 1979a, b/, Б.В.Соловицкий /1978/, B.G.Nickerson /1988/ и M.Monmonier /1989/.

Эвристические генерализационные подходы ориентированы на использование, в основном, в картографических экспертных системах. Эти подходы являются логико-математическими моделями, в которых последовательность операций определяется по аналогии с традиционной ручной технологией генерализации /Халугин и др., 1989/. В качестве элементов эти модели включают те или иные алгоритмы операций генерализации.

Б.В.Соловицкий /1978/ описал систему генерализации тематических карт, содержащих элементы площадного типа. W.Lichtner /1979a, b/ и F.W.Leberl et al. /1986/ разработали программы для комплексной генерализации топографических карт. Общий подход к эвристической генерализации на примере обработки изогипс приводит А.С.Васмут /1983/, там же опубликована функциональная схема выбора оператора преобразования в процессе генерализации. Экспертная система для генерализации крупномасштабных топографических карт описывается U.Meyer /1986/ и D.V.Vicars, G.J.Robinson /1986/. Программу, основанную на эвристическом подходе, представляет B.G.Nickerson /1988/. Предлагается концептуальная модель, включающая пять последовательных преобразований при генерализации элементов линейного типа /McMaster, 1989b/.

Генерализация и теория фракталов. Использование теории фракталов /Mandelbrot, 1967/ в картографии и, в частности, при генерализации связана со сложностью реальных природных (прежде всего - рельефа) и антропогенных объектов и проблемами с их отображением и восприятием при уменьшении масштаба.

Понятие фрактальной (дробной) размерности, применяемое в некоторых областях знания, было введено благодаря анализу поведения длины картографической кривой при уменьшении масштаба /напр., Maling, 1963; Beckett, 1977/.

Ряд авторов считают, что сохранение фрактальной размерности картографической кривой при уменьшении масштаба и "улучшение" генерализованных линий с помощью алгоритмов фрактальной геомет-

рии оптимизирует визуальное восприятие картографического изображения, распознавание объектов, например, типов рельефа /*Buttenfield, 1985; Maguire, 1986; Muller, 1987*/ . Однако, анализ последних работ /*Clarke, 1988; Carstensen, 1989*/ позволяет предположить некоторое снижение интереса к использованию алгоритмов теории фракталов при генерализации карт. Это объясняется следующим: 1. Определение фрактальной размерности типа рельефа на основе анализа разномасштабных карт или ЦМР лишено корректности, так как результаты генерализации топографических данных являются функцией не только масштаба, но и других факторов. 2. Определение фрактальной размерности по разным методикам дает значительный разброс результатов /*Clarke, 1988*/ , что позволяет предположить некорректность этих методик. 3. Использование фрактальных подходов, будучи полезным для симуляции ландшафтов, художественной обработки картографического материала, порождает ложную информацию, использование которой в научных исследованиях нецелесообразно.

ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ КАРТОГРАФИЧЕСКОЙ ГЕНЕРАЛИЗАЦИИ

Использование карт для изучения природных и антропогенных объектов, процессов и явлений с целью получения о них качественно новой информации называется картографическим методом исследования /Салищев, 1955/. Карта позволяет емко отображать данные о закономерностях пространственного размещения предмета изучения, превращать в объект единого обозрения то, что до ее составления было доступно для исследования лишь по частям /Асланиашвили, 1974/. Целевая генерализация может повышать качество результатов картографического анализа /Сухов, 1957; Lawrence, 1971; Bassett, 1972/.

А.Ф.Асланиашвили /1974/ подчеркивал, что абстрагирование – процесс, адекватный природе предмета изучения. Алгоритм преобразования информации соответствует целевой генерализации лишь в том случае, если связан с контекстом /Brassel, Weibel, 1988; Mark, 1989; Jenks, 1989/. Например, W.R.Tobler /1969/ отмечал, что различные типы тренд-анализа (см. ниже) должны быть ориентированы на разные приложения; удачное применение алгебраического полинома (16) при обработке геологических данных не означает, что его использование в социогеографических исследованиях даст удовлетворительные результаты. Однако, на современном уровне развития науки заранее строго обосновать использование алгоритмов масштабной генерализации или оригинальных подходов в прикладных целях не всегда представляется возможным, особенно, если речь идет о моделировании природных процессов (см. ниже), когда слабо

изучен сам предмет исследования. В этом случае подтверждение правильности выбранного подхода можно получить лишь на основании анализа результатов преобразования информации /Нюберг, 1976/.

Целевая генерализация в геологии и геофизике*. Генерализованность мелкомасштабных карт и глобусов позволила открыть географическую зональность, антиподальность моря и суши, систему срединно-океанических хребтов, рифтовых зон /Берлянт, 1986/, провести реконструкцию Пангеи и моделирование ее раскола /Кэри, 1991/. Ярким примером полезности генерализации при выявлении закономерностей строения рельефа на субконтинентальном уровне было составление мелкомасштабной топографической карты Европейской России, ее анализ и уяснение структуры орографии этого региона /Тилло, 1890/.

Неоднократно отмечалось, что переход к более мелким масштабам отображения топографической информации заметно улучшает выявление линеаментов /Новъя, 1904/ и структур центрального типа /напр., Чижова, 1973; Карта линейных и кольцевых структур..., 1989/. Практически все подходы выявления тектонических структур при анализе картографических и/или дистанционных материалов являются в той или иной степени алгоритмами генерализации исходной информации. Приведем несколько примеров.

Для визуализации тектонических структур ряд авторов /напр., Симонов, Лукашов, 1963; Металлогенез скрытых линеаментов..., 1984; Волчанская, Сапожникова, 1990/ используют грубую генерализацию изогипс - так называемые "морфотектоизогипсы". Геологоморфологический анализ В.В.Соловьева /1978/ (см. также "Карту морфоструктур..." /1982/), применяемый для выявления структур топографической поверхности (СТП) - линеаментов, кольцевых структур и пр., включает в себя такую процедуру генерализации, как сепарацию линеаментов на фоновые и аномальные. По мелкомасштабным картам областей конвергенции и дивергенции топографической поверхности проводилась интуитивная визуализация СТП и изучение закономерностей их пространственного размещения /Выявление по топокартам..., 1983; Брынских, 1987; Лобода, 1987; Лошакова, 1987; Степанов и др., 1987; Хамидов, 1987; Лошакова, 1988; Гаджиев, 1990/.

Для преодаления субъективизма перечисленных подходов широкое использование получила когерентно-оптическая /напр., Pincus, Dobrin, 1966; Бачевский и др., 1979/ и оптическая /А.С...., 1973;

* Целевая генерализация применяется также в социальной географии и геоботанике /напр., Chorley, Haggett, 1965/.

Методические указания..., 1977/ фильтрация карт изолиний, схем линеаментов и иной графической информации. Е.Н.Востоков с соавт. /1979/, используя разработанные ранее подходы к оптико-электронной обработке схем линеаментов, изучали закономерности в ориентации речных долин и разломов Восточно-Европейской платформы. О.А.Потапов /1984/ на ряде примеров показал эффективность когерентной фильтрации карт трещинноватости для выявления преобладающего направления линеаментов и визуализации структур центрально-го типа. И.Н.Степанов с соавт. /1988/ и Н.А.Лошакова /1988/ про-демонстрировали выявление СТП при оптико-электронной фильтрации карт областей конвергенции и дивергенции топографической поверх-ности. И.В.Флоринский /1991/ описал алгоритм обработки такой ин-формации, включающий: а) генерализацию карт кривизн топографичес-кой поверхности с помощью лапласиана функции Гаусса; б) построе-ние остова полученного изображения; в) его согласованную фильт-рацию. Полезность данного алгоритма показала Г.А.Курякова /1991б/, изучавшая с его помощью пространственную взаимосвязь между стру-ктурами центрального типа, топографией, таксонами почвенных ком-плексов и геологическим возрастом подстилающих пород.

Алгоритм выявления линеаментов при оригинальном способе инди-кации долин по регулярной ЦМР и последующей генерализации инфор-мации о них приводится в U.S.Patent... /1987/.

Свообразной генерализацией СТП является цифровая отмыка ре-льефа. Отмечено, что при моделировании высокого положения солнца-над горизонтом выявляются мелкие структуры, а при моделировании низкого положения - крупные /Fukue et al., 1981/. Этот подход использовали R.P.Moore, C.J.Simpson /1983/, Б.С.Зейлик с соавт. /1985/.

Среди подходов целевой генерализации в геологии и сопредель-ных науках максимальное распространение получили методы тренд-а-нализа^{*} трехмерных распределений. Тренд-анализ заключается в разложении исходной поверхности $z = f(x, y)$ в сумму:

$$z = f_1(x, y) + f_2(x, y) + \dots + f_k(x, y) + h(x, y), \quad (15)$$

где $f_k(x, y)$ - тренд-компоненты, $h(x, y)$ - остаток /Tobler, 1969/ и разделном анализе этих компонент.

Одной из первых работ по тренд-анализу стало выявление поверх-ности геологической структуры с помощью вычитания поверхности

* Обзоры методов тренд-анализа приведены R.J.Chorley, P.Hag-gett /1965/, C.Board /1971/, в "Цифровой фильтрации..." /1976/.

общего уклона геологических пластов определенного геологического возраста из топографической поверхности /Levorsen, 1927/. Основной частью методики В.П.Философова /1960/ явился своеобразный качественный тренд-анализ (составление карт базисных поверхностей, остаточных высот и пр.), нашедший признание в среде отечественных геологов /напр., Гвин, 1963/.

W.R.Tobler /1969/ выделяет четыре количественных типа тренд-анализа:

1. Алгебраический полином:

$$z = a_{00} + a_{10}x + a_{01}y + a_{11}xy + a_{20}x^2 + a_{21}x^2y + \dots + a_{jk}xy + h \quad (16)$$

2. Эмпирические ортогональные функции вида:

$$z = f_1(x)g_1(y) + f_2(x)g_2(y) + \dots + f_k(x)g_k(y) + h(x,y) \quad (17)$$

3. Тренд типа:

$$z = a_1 \exp(-b_1 r_1) + a_2 \exp(-b_2 r_2) + \dots + a_k \exp(-b_k r_k) + h, \quad (18)$$

где $r_k = ((x_k - x)^2 + (y_k - y)^2)^{1/2}$

4. Тригонометрический полином (Фурье-распределение):

$$z = \sum_{p=0}^m \sum_{q=0}^n A_{p,q} \exp(2\pi i(p x + q y)) + h \quad (19)$$

B.K.Bhattacharyya, B.Raychaudhuri /1967/ использовали частотную фильтрацию для анализа изолинейных карт аэромагнитной съемки. E.G.Zurflueh /1967/ применил ее для выделения аномалий в изолиниях топографических и аэромагнитных карт и опубликовал несколько цифровых матриц-фильтров. С целью структурного геологического анализа неоднократно осуществлялась пространственная фильтрация карт изолиний стратиграфических поверхностей /Robinson et al., 1969; Чарльзорт и др., 1983/. Тренд-анализ применялся и для визуализации структур центрального типа /Гостева и др., 1983; Зверев, Стыров, 1986/.

Возможно выявление СТП с помощью приложения известных методов масштабной и целевой генерализаций к результатам двукратного дифференцирования топографической поверхности /Шарый, 1991/; особый интерес представляет изучение информации о ее гауссовой кривизне.

При картографическом исследовании взаимосвязей между различными явлениями, с уменьшением масштаба их отображения возникает фе-

номен повышения показателей корреляции за счет снятия остаточных отклонений с фоновых характеристик в результате генерализации информации /Берлянт, 1978а, 1986/. Сошлемся здесь на работу Г.А.Куряковой /1991а/, где изучалась статистическая зависимость почвенной влажности от локальных топографических величин /Шарый, 1991/ для негенерализованной и генерализованной версий ЦМР. Коэффициент линейной корреляции средней кривизны топографической поверхности и влажности почвы изменился от значения -0,58 до -0,88 для исходной и сглаженной версий ЦМР соответственно.

Процесс-ориентированная генерализация. Впервые мысль о необходимости подчинения правил генерализации природных границ свойствам процессов, определяющих их формирование, высказала, вероятно, И.П.Заруцкая /1966/.

Изучение проблем экологии требует количественного картографического представления топографических предпосылок процессов дивергенции и конвергенции поверхностных и приповерхностных потоков, ускорения и замедления их движения, миграции и аккумуляции вещества, т.е. составления цифровых моделей (карт) кривизн топографической поверхности /Шарый, 1991; Шарый и др., 1991а/.

Пусть для некоторой местности имеются цифровые модели высоты или горизонтальной и вертикальной кривизн. Точность и разрешающая способность моделей соответствуют масштабному уровню организации связанного с топографическими величинами процесса А (например, движение дождевой воды). Необходимо получить топографические предпосылки процессов В, С, ..., Х, сходных по принципу действия с процессом А, но относящихся к более мелкомасштабным уровням организации (например, распространение ледника). При этом необходимо решить два вопроса: а) что должно являться исходной информацией - данные о высоте или о кривизнах; б) как проводить генерализацию.

Говорить о кривизнах реальной недифференцируемой поверхности планеты можно лишь при изучении взаимодействия с нею либо измерительного прибора, либо некоторого природного процесса /Шарый, 1991/, которые производят ее сглаживание, делая дифференцируемой. Поэтому, исходной информацией, вероятно, должна быть цифровая модель высоты. Чем больше размер прибора, или чем меньше масштабный уровень процесса, тем сильнее сглаживается поверхность. Однако, вопрос эквивалентности увеличения размера прибора уменьшению масштабного уровня процесса проблематичен. Здесь вряд ли целесообразно основывать генерализацию на механическом исключении из исходно ЦМР каждой n -ой точки. Правила генерализации должны, вероятно, определяться тем, как воздействуют на земную поверхность

реальные процессы, т.е. являться аппроксимацией природного "сглаживания".

Иллюстрация нескольких подходов к генерализации карт кривизн топографической поверхности приводится на рис. 4 - 6.

Потенциально возможный и чрезвычайно важный в экологическом отношении процесс перколяции долин /Шарый и др., 1991б/ также может моделироваться определенной генерализацией топографической поверхности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Краткий анализ проблемы картографической генерализации позволяет сделать следующие выводы:

1. Этап формализации операций масштабной генерализации практически завершен. Начинается период стандартизации алгоритмов для оптимизации функционирования экспертных картографических систем /Mark, Csillag , 1989/.

2. В ближайшее время можно ожидать повышение интереса к прикладным аспектам картографической генерализации, прежде всего - к экологическим и геологическим ее приложениям.

Автор выражает благодарность коллегам из Центра ландшафтных исследований фирмы Линна П.А.Шарому и В.И.Хачко, предоставивших возможность получения части иллюстраций настоящей работы (рис. 4 - 6).

ЛИТЕРАТУРА

1. Азизов Ш.К. Об особенностях генерализации крупномасштабных ландшафтных карт //Изв. АН АзССР. Сер.: Науки о Земле, 1982, № 2, с. 34-40.
2. Асланиашвили А.Ф. Метакартография. Основные проблемы. Тбилиси: Мецниереба, 1974, 125 с.
3. Баранский Н.Н. Генерализация в картографии и в географическом текстовом описании //Ученые записки МГУ. Вып. II9. География. Кн. 2. М.: Изд-во Московского ун-та, 1946, с. 180-205.
4. Баузэр П. Об одном практически испытанном варианте автоматизированной генерализации линейных объектов картографического изображения //Геодезия и картография, 1973, № 8, с. 49-53.
5. 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.
6. Берлянт А.М. Картографическое моделирование и системный анализ //Пути развития картографии. Сборник, посвященный 70-летию профессора К.А.Салищева. М.: Изд-во Московского ун-та, 1975, с. 98-106.
7. Берлянт А.М. Картографический метод исследования. М.: Изд-во Московского ун-та, 1978а, 255 с.
8. Берлянт А.М. Преобразование картографического изображения как способ географического моделирования //Новые методы в тематической картографии (Математико-картографическое моделирование и автоматизация). - М.: Изд-во Московского ун-та, 1978б, с. 33-51.
9. Берлянт А.М. Образ пространства: карта и информация. М.: Мысль, 1986, 240 с.
10. Берлянт А.М. Геоизображения и их свойства //Изв. Всесоюзного географического об-ва, 1987, Т. II9, Вып. 5, с. 403-4II.

- II. Билич Ю.С., Васмут А.С. Проектирование и составление карт. М.: Недра, 1984, 364 с.
- I2. Богинский В.М. Обзор средств и методов автоматизации в картографии //Методика, техника и экономика геодезических, аэрофототопографических и картографических работ. Обзорная информация, № 3. М.: ВИЭМС, 1966, 19 с.
- I3. Богомолов Л.А. Оптическая генерализация и использование космических снимков для обновления мелкомасштабных карт (обзор проблемы) //Аэрометоды в географии. М.: Московский филиал географического об-ва, 1974, с. 24-26.
- I4. Богомолов Л.А. Дешифрирование аэроснимков. М.: Недра, 1976, 144 с.
- I5. Бородин А.В. К вопросу об отборе населенных пунктов на общегеографических картах //Сборник научно-технических и производственных статей по геодезии, картографии, топографии, аэроисследованию и гравиметрии. Вып. I8. М.: Геодезиздат, 1948, с. I27-I32.
- I6. Бородин А.В. Вопросы генерализации картографического изображения при автоматическом создании карт //Геодезия и картография, 1976, № 7, с. 57-64.
- I7. Бородин А.В., Богинский В.М. Количественные критерии для генерализации на ЭВМ элементов содержания общегеографических карт //Реф. об., № 25. Сер.: Картографическая. М.: ЦНИИГАиК, 1973, с. 6-12.
- I8. Боумен У. Графическое представление информации /Пер. с англ. М.: Мир, 1971, 225 с.
- I9. Брынских М.Н. Оценка учета рельефа в различных тематических картах //Метод пластики рельефа в тематическом картографировании. Пущино: НЦБИ АН СССР, 1987, с. 90-97.
- I0. Брюханов В.Н., Еремин В.К., Можаев Б.Н. Космические съемки в геологии //Сов. геология, 1977, № II, с. 86-94.
- I1. Брюханов В.Н. О некоторых основных параметрах космических снимков с позиции их геологической информативности //Исследование Земли из космоса, 1983, № 4, с. 39-46.
- I2. 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.
- I3. Бюшганс Л.М., Кельнер Ю.Г. Генерализация при комплексном картографировании природы крупных регионов //Геодезия и картография, 1968, № II, с. 67-71.
- I4. Васмут А.С. Автоматизация в картографии //Итоги науки.

Сер.: География. Картография 1967-1969. Вып. 4. М.: ВИНИТИ, 1970, с. 43-64.

25. 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.
26. Васмут А.С. Моделирование в картографии с применением ЭВМ. М.: Недра, 1983, 200 с.
27. Васмут А.С., Бугаевский Л.М., Портнов А.М. Автоматизация и математические методы в картосоставлении: Учеб. пособ. для вузов. М.: Недра, 1991, 391 с.
28. Вахрамеева Л.А. Картография. М.: Недра, 1981, 224 с.
29. Видина А.А. О содержании ландшафтных карт крупных масштабов и некоторых вопросах их генерализации //Материалы по физической географии. Вып. 3. Л.: Географическое об-во СССР, 1963, с. 5-23.
30. Визуальные методы дешифрирования /Верещака Т.В., Зверев А.Т., Сладкопевцев С.А. и др. М.: Недра, 1990, 341 с.
31. Виноградов Б.В. Космические методы изучения природной среды. М.: Мысль, 1976, 286 с.
32. Волков Н.М. Картография. Часть 2. Составление и редактирование карт. М.: Изд-во геодезической литературы, 1961, 266 с.
33. Волчанская И.К., Сапожникова Е.Н. Анализ рельефа при поисках месторождений полезных ископаемых. М.: Недра, 1990, 159 с.
34. Востоков Е.Н., Кофман С.М., Пивоварова Т.А. Совместный анализ структуры гидросети и сетки разломов Восточно-Европейской равнины на основе оптических методов обработки //Геоморфология, 1982, № 1, с. 52-60.
35. Выявление по топокартам и аэрофотоснимкам форм естественных почвенно-геоморфологических тел. Клеточная структура земной поверхности. Методические рекомендации /Степанов И.Н. Цущино: НЦБИ АН СССР, 1983, 76 с.
36. Гаджиев Г.М. Структуры почвенного покрова Мильской равнины и их мелиоративная оценка. Автореф. дисс. на соиск. уч. степ. канд. с.-х. наук. Баку: ИПА АзССР, 1990, 25 с.
37. Гараевская Л.С. Картография. М.: Недра, 1971, 360 с.
38. Гвин В.Я. Применение морфометрии при структурных исследованиях Верхнего и Среднего Поволжья и Прикамья //Вопросы географии. Сб. 63. Количественные методы в геоморфологии. М.: Географгиз, 1963, с. 64-80.
39. Геттнер А. География. Ее история, сущность и методы /Пер. с нем. М.: Госиздат, 1930, 416 с.

40. Голд Д., Парцек Р., Александр С. Анализ и применение данных ЕРТС-1 для регионального картирования //Геологические исследования из космоса /Пер. с англ. М.: Мир, 1975, с. 7-18.
41. Гонин Г.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.: ВИНТИ, 1976, с. 211-221.
42. Гонин Г.Б. Космическая фотосъемка для изучения природных ресурсов. Л.: Недра, 1980, 319 с.
43. Гостева Т.С., Патракова В.С., Абрамкина В.А. Выявление закономерностей пространственного распределения кольцевых структур на основе тренд-анализа рельефа //Геология и геофизика, 1983, № 8, с. 72-79.
44. Григорьев А.А. Космическая индикация ландшафтов Земли. Л.: Изд-во Ленинградского ун-та, 1975, 165 с.
45. Давыдкина Т.В., Богинский В.М. Исследование по программному отбору речной сети на ЭВМ //Реф. сб., № 31. Сер.: Картографическая. М.: ЦНИИГАиК, 1974, с. 55-62.
46. Долгова Л.С. Методика составления мелкомасштабных почвенных карт. М.: Изд-во Московского ун-та, 1980, 80 с.
47. Евстафьев Г.А., Игнатов М.И. Моделирование и автоматизация при построении карт географических полей //Картография в эпоху НТР: теория, методы, практика. Тез. докл. Всесоюзного совещания по картографии. М.: ИГ АН СССР, 1987, с. 95-96.
48. Егоров В.В., Соколов О.В., Тарновский Л.Ф. Составление и редактирование карт. М.: Изд-во геодезической литературы, 1962, 239 с.
49. Заруцкая И.П. Карты природы. Редакционно-подготовительные работы. Иркутск: Восточно-Сибирское книжное изд-во, 1965, 208 с.
50. Заруцкая И.П. Составление специальных карт природы. М.: Изд-во Московского ун-та, 1966, 232 с.
51. Заруцкая И.П., Красильникова Н.В. Картографирование природных условий и ресурсов. М.: Недра, 1988, 299 с.
52. Заруцкая И.П., Красильникова Н.В. Проектирование и составление карт. Карты природы. М.: Изд-во Московского ун-та, 1989, 296 с.
53. Зверев А.Т., Стыров А.И. Трансформирование геолого-геофизических и гипсометрических карт с целью выделения псевдо-круглых аномалий (форм) для автоматизации процесса дешифрирования кольцевых структур на космических снимках //Изв. вузов.

- Геодезия и аэрофотосъемка, 1985, № 5, с. 46-54.
54. Звонарев К.А. Картография. М.-Л.: Углетеиздат, 1951, 212 с.
55. Зейлик В.С., Перфильев Л.Г., Василенко А.Н. и др. Новая методика геологического дешифрирования кольцевых структур в пределах полузакрытых и закрытых территорий //Исследование Земли из космоса, 1985, № 4, с. 31-40.
56. Иванов В.В. О программировании отбора населенных пунктов на топографических картах //Геодезия и картография, 1964, № 2, с. 52-63.
57. Иванов В.В. О некоторых возможностях автоматизации составления топографических карт //Геодезия и картография, 1965, № I, с. 62-66.
58. Имгоф Э. Изображение населенных пунктов на карте /Пер. с нем. М.: Изд-во геодезической и картографической литературы, 1940, 76 с.
59. Исаченко А.Г. Физико-географическое картирование. Часть I. Л.: Изд-во Ленинградского ун-та, 1958, 232 с.
60. Карта линейных и кольцевых структур УССР (по материалам космических съемок). Масштаб 1:1000000. Объяснительная записка. Киев: Мингео СССР, УГКГУ "Укргеология", Центральная тематическая экспедиция, 1989, II3 с.
61. Карта морфоструктур центрального типа территории СССР. Масштаб 1:10000000 (второе издание). Объяснительная записка / Соловьев В.В. Л.: ВСЕГЕИ, 1982, 44 с.
62. Картография с основами топографии. Учебник для студентов естественно-географических факультетов педагогических институтов. Часть 2. Мелкомасштабная географическая карта. Школьные картографические произведения /Под ред. А.В.Гедымина. М.: Просвещение, 1973, 248 с.
63. Кветкаускас В.И. Четырехцветная морфометрия - новый метод морфометрического картографирования рельефа. Автореф. дисс. на соиск. уч. степ. канд. геогр. наук. Вильнюс: ВГУ, 1972, 23 с.
64. Комков А.М. К вопросу о сущности и методах генерализации в картографии //Вопросы географии. Сб. 27. Экономическая география. М.: Географиздат, 1951, с. 237-256.
65. Комков А.М., Николаев С.А., Шилов Н.И. Составление и редактирование карт. Части I и 2. М.: Издание ВИА им. Куйбышева, 1958, 246 с.
66. Костриц И.Б., Иванов С.И., Зинкевич Е.Г. и др. Картография. М.: РИО ВТС, 1958, 226 с.
67. Красильникова Н.В. Вопросы генерализации при составлении

- специальных карт (на примере геологических карт). М.: Изд-во Московского ун-та, 1961, 153 с.
68. Кравцова В.И. Космическое картографирование. М.: Изд-во Московского ун-та, 1977, 168 с.
69. Кошкарев А.В. Рельеф как входной параметр математико-картографических моделей геосистем //Географическая картография в научных исследованиях и народохозайстvenной практике. М.: Московский филиал географического об-ва, 1982, с. II7-I3I.
70. Курякова Г.А. Некоторые нетрадиционные топографические подходы к вопросу содержания влаги в приповерхностном слое Земли. /Дипломная работа. М.: МИИГАиК, 1991а, 99 с.
71. Курякова Г.А. О методе выявления потоковых структур центрального типа (ПСЦТ) по картам пластики рельефа //Кольцевые структуры и морфоструктуры (теоретические и прикладные аспекты). Тез. докл. Всесоюзного совещания. Владивосток: ДВО АН СССР, 1991б, с. 7.
72. Кэри У. В поисках закономерностей развития Земли и Все-ленной: История догм в науках о Земле: Пер. с англ. М.: Мир, 1991, 447 с.
73. Ласточкин А.Н. Рельеф земной поверхности (Принципы и методы статической геоморфологии). Л.: Недра, 1991, 340 с.
74. Лебедев П.П. Системно-информационный подход к исследованию картографической генерализации //География и природные ресурсы, 1990, № 1, с. I5I-I56.
75. Лиодт Г.Н. Картоведение. Учебное пособие для высших педагогических учебных заведений. Изд. 2-е. М.: Гос. учебно-педагогическое изд-во, 1948, 432 с.
76. Лобода Е.А. О пространственной упорядоченности кольцевых структур Тянь-Шаня //Метод пластики рельефа в тематическом картографировании. Пущино: НЦБИ АН СССР, 1987, с. II6-I20.
77. Лошакова Н.А. О картографическом отображении связи почв с рельефом //там же, с. 77-89.
78. Лошакова Н.А. Использование метода пластики рельефа для составления и анализа почвенных карт. Автореф. дисс. на соиск. уч. степ. канд. биол. наук. Новосибирск: ИПА СО АН СССР, 1988, I6 с.
79. Лютый А.А. Язык карты: сущность, система, функции. М.: ИГ АН СССР, 1988, 292 с.
80. Мамай И.И. Возможности генерализации ландшафтных карт (на примере западной части Казахстана) //Ландшафтный сборник. М.: Изд-во Московского ун-та, 1970, с. 232-255.
81. Мартыненко А.И. Автоматизация в картографии //Итоги на-

уки и техники. Сер.: Картография. Т. 5. М.: ВИНИТИ, 1972, с. 24-52.

82. Мартыненко А.И. Автоматизация в картографии //Итоги науки и техники. Сер.: Картография. Т. 6. М.: ВИНИТИ, 1974, с. 45-80.

83. Металлогенез скрытых линеаментов и концентрических структур /Томсон И.Н., Кочнева Н.Т., Кравцов В.С. и др. М.: Недра, 1984, 272 с.

84. Методические указания по аналоговой оптической аналитической обработке геолого-геофизической картографической информации /Миркин Г.Р. Л.: ВНИГРИ, 1977, 89 с.

85. Нешатаев В.Ю. Программа для автоматической генерализации картографических материалов //Эколого-географическое картографирование и оптимизация природопользования в Сибири. Материалы к 4 Регион. науч.-тех. конф. по темат. картографированию (Иркутск, ноябрь 1989). Вып. 3. Иркутск: ИГ СО АН СССР, 1989, с. I75-I76.

86. Нюберг И.Н. Схематизация явлений - необходимое условие математизации геологии //Методология геологических исследований. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1976, с. I8-3I.

87. Основы генерализации на общегеографических картах мелкого масштаба /Под ред. Ю.В.Филиппова //Труды ЦНИИГАиК. Вып. I04. М.: Геодезиздат, 1955, 336 с.

88. Основы редактирования топографических карт /Под ред. А.М.Комкова, М.К.Кудрявцева. М.: РИО ВТС, 1952, 9I с.

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

90. Потапов О.А. Оптико-электронная обработка геолого-геофизической информации. М.: Недра, 1984, 304 с.

91. Преображенский А.И., Сухов В.И., Билич Ю.С. и др. Составление и редактирование специальных карт. М.: Изд-во геодезической литературы, 196I, 320 с.

92. Разработка программ кодирования, генерализации и графического отображения рельефа и речной сети: Отчет по НИР /Львов В.А., Шайтура С.В., Титов В.Я. и др. М.: ЦНИИпроект, 198I, 95 с. Деп. ВНИЦентр, № 02822017428.

93. Райков А. Картография //Държавна политехника-София. Записки, № 26. София: Научни цели, 1946, I03 с.

94. Ратайский Л. К вопросу о видах картографической генерализации //Пути развития картографии. Сборник, посвященный 70-летию профессора К.А. Салищева /Пер. с польск. М.: Изд-во Московского

- ун-та, 1975, с. 57-66.
95. Рехтзамер Г.Р. Основы картографии (учебное пособие). Л.: ЛГМИ, 1974, 217 с.
96. Робинсон А. Исследования по оформлению карт /Пер. с англ. //Пути развития картографии. Сборник, посвященный 70-летию профессора К.А.Салищева. М.: Изд-во Московского ун-та, 1975, с. 67-75.
97. Салищев К.А. Основы картоведения. Общая часть. М.: Редбюро ГУГК СНК СССР, 1939, 308 с.
98. Салищев К.А. О картографическом методе исследований //Вест. Московского ун-та. Сер.: Физ.-мат. и естествен. наук, 1955, № 10, с. 161-170.
99. Салищев К.А. Генерализация в ее истории и современном развитии //Итоги науки и техники. Сер.: Картография. Т. 5. М.: ВИНТИ, 1972, с. 6-23.
100. Салищев К.А. Взгляд на картографию в аспекте научно-технической революции //Пути развития картографии. Сборник, посвященный 70-летию профессора К.А.Салищева. М.: Изд-во Московского ун-та, 1975а, с. 21-35.
101. Салищев К.А. О картографическом методе познания (анализ некоторых представлений о картографии) //там же, 1975б, с. 36-45.
102. Салищев К.А. Идеи и теоретические проблемы в картографии 80-х годов //Итоги науки и техники. Сер.: Картография. Т. 10. М.: ВИНТИ, 1982а, 155 с.
103. Салищев К.А. Картография. М.: Высшая школа, 1982б, 272 с.
104. Салищев К.А. Картоведение: Учебник. 3-е изд. М.: Изд-во Московского ун-та, 1990, 400 с.
105. Свентэк Ю.В. Обобщение очертаний на картах: опыт формализации метода //Тематическое системное картографирование с использованием автоматики и дистанционных методов. М.: Московский филиал географического об-ва, 1986, с. 18-23.
106. Серапинас Б.Б. О применении вероятностных зависимостей к математическому обоснованию генерализации //Вест. Московского ун-та. Сер.: География, 1978, № 4, с. 38-45.
107. Сербенюк С.Н., Тикунов В.С. Автоматизация в тематической картографии. М.: Изд-во Московского ун-та, 1984, 109 с.
108. Сербенюк С.Н., Мусин О.Р., Собчук Т.В. Кривизна и генерализация линейных объектов на картах //Вест. Московского ун-та. Сер.: География, 1990, № 5, с. 49-56.
109. Сергеев О.А. Составление и редактирование военных карт. Часть I и 2. М.: ВИА им. Куйбышева, 1939, 355 с.
110. Симонов Ю.Г., Лукашов А.А. Некоторые приемы и результа-

ты анализа неотектонических структур Юго-Восточного Забайкалья //Зап. Забайкальского отд. Геогр. об-ва СССР. Вып. 21. Труды геологической секции, 1963, № 2, с. I70-I78.

III. Скарягин В.Д. Об изучении разрывной тектоники по комплексу разномасштабных космоснимков Земли (метод многоступенчатой генерализации) //Изв. вузов. Геология и разведка, 1973, № 7, с. 34-50.

II2. Смирнов Л.Е. Генерализация при дешифрировании аэроснимков //Вест. Ленинградского ун-та, 1965, № 18, с. 97-106.

II3. Смирнов Л.Е. Аэрокосмические методы географических исследований. Л.: Изд-во Ленинградского ун-та, 1975, 303 с.

II4. Смирнов Л.Е. Генерализация при аэрокосмическом картографировании //Вест. Ленинградского ун-та. Сер.: География, 1982, № 12, с. 60-70.

II5. Смирнов Н.Н. Особенности составления и редактирования среднемасштабных ландшафтных (типологических) карт //Изв. Воронежского отд. географического об-ва СССР, 1961, Вып. 3, с. 91-96.

II6. Соколов П.Д. Характерные примеры генерализации рельефа на общегеографических картах //Исследования по картографической генерализации. Труды ЦНИИГАиК. Вып. 76. М.: Геодезиздат, 1951, с. 59-73.

II7. Соловицкий Б.В. Некоторые возможности автоматического обобщения очертаний //Геодезия и картография, 1974, № 12, с. 56-59.

II8. 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 Московского ун-та, 1978, с. I03-II3.

II9. Соловьев В.В. Геолого-морфологические исследования в геологии //Четвертичная геология и геоморфология. Труды ВСЕГЕИ. Новая серия. Т. 297. Л.: ВСЕГЕИ, 1978, с. I27-I44.

I20. Справочник по картографии /Берлянт А.М., Гедымин А.В., Кельнер Ю.Г. и др. М.: Недра, 1988, 428 с.

I21. Степанов И.Н., Лошакова Н.А., Саталкин А.И. и др. Составление почвенных карт с использованием системного картографического метода - пластики рельефа //Метод пластики рельефа в тематическом картографировании. Пущино: НЦБИ АН СССР, 1987, с. 7-22.

I22. 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.

- I23. Степпе Я.Я. Практическая картография. М.-Л.: ОНТИ НКТП СССР, 1937, 448 с.
- I24. Сухов В.И. Изображение населенных пунктов СССР на топографических картах //Труды ЦНИИГАиК. Вып. 48. М.: Геодезиздат, 1947, I76 с.
- I25. Сухов В.И. Аналитический метод генерализации //Труды МИИГАиК. Вып. 5. М.: Геодезиздат, 1950, с. 3-14.
- I26. Сухов В.И. Составление и редактирование общегеографических карт. М.: Геодезиздат, 1957, 279 с.
- I27. Сухов В.И., Надеждина М.Е. Отбор дискретной информации на картах с применением ЭВМ //Географический сборник, № 5. М.: ВИНИТИ, 1975, с. 190-201.
- I28. 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.
- I29. Тилло А.А. Орография Европейской России на основании гипсометрической карты //Изв. Императорского Русского Географического об-ва, 1890, Т. 26, с. 8-32.
- I30. Фадеева Н.В. О проблеме генерализации ландшафтных карт //Вопросы ландшафтovedения (Материалы к 6 Всесоюезному совещанию по вопросам ландшафтovedения). Алма-Ата: АН КазССР, Географическое об-во СССР, 1963, с. 208-214.
- I31. Филиппов Ю.В. Основы генерализации рельефа на топографических картах //Труды ЦНИИГАиК, Вып. 47. М.: Геодезиздат, 1946, 232 с.
- I32. Философов В.П. Краткое руководство по морфометрическому методу поисков тектонических структур. Саратов: Изд-во Саратовского ун-та, 1960, 94 с.
- I33. Флоринский И.В. О дешифрировании природных границ и генерализации изображений структур земной поверхности //Геометрия структур земной поверхности. Пущино: ПНЦ АН СССР, 1991, с. 58-87.
- I34. 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.
- I35. Хамидов Ш.Л. Проявление солевых потоков по кольцевым геологическим структурам Киргизии //Метод пластики рельефа в тематическом картографировании. Пущино: НЦБИ АН СССР, 1987, с. I20-I26.
- I36. 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.

137. Хофманн Ф. Исследования и разработка методов анализа и генерализации линий рек на картах. Автореф. дисс. на соиск. уч. степ. канд. тех. наук. М.: МИИГАиК, 1972, 25 с.

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

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

140. Чижова Н.Г. Кольцевые морфоструктуры и их роль в локализации эндогенного оруднения (на примере Тимано-Уральского региона) //Металлогенез и новая глобальная тектоника. Л.: ВСЕГЕИ, 1973, с. 152-155.

141. Шарый П.А. Топографический метод вторых производных // Геометрия структур земной поверхности. Пущино: ПНЦ АН СССР, 1991, с. 28-58.

142. Шарый П.А., Курякова Г.А., Флоринский И.В. О возможной роли перkolации долин в гидрогеологии //там же, 1991а, с. 87-90.

143. Шарый П.А., Курякова Г.А., Флоринский И.В. О международном опыте применения методов топографии в ландшафтных исследованиях (краткий обзор) //там же, 1991б, с. 13-27.

144. Ширяев Е.Е. Многоуровневый принцип генерализации и вопросы автоматического чтения карт //Актуальные вопросы советской географической науки. Сб. докл. на XXII Международном географическом конгрессе. М.: Наука, 1972, с. 235-241.

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

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

147. А.С. № 365562, МКИ G01 C II/00. Способ построения карт осредненных значений плотности распределения линий, пятен или точек на исследуемой площади /Гольбрах И.Г., Королев А.Н., Миркин Г.Р. (СССР), 08.01.1973.

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

149. Basic cartography for students and technicians. Vol. 2 /Ed. R.W.Anson. L. - N.Y.: ICA, Elsevier Applied Science Publ., 1988, 141 p.

150. Bassett K. Numerical methods for map analysis //Prog-
ress in geography. Int. reviews of current research. Vol. 4.
L.: Edward Arnold Ltd, 1972, pp.217-254.
151. Beckett P. Cartographic generalisation //Cartogr. J.,
1977, Vol. 14, No. 1, pp.49-50.
152. Berger A. Computer-assisted generalization and its pos-
sibilities of numerically determined manipulation by parameters
of design and generalization //Nachr. Karten- und Vermessungs-
wesen, 1976, R. 2, H. 33, s.5-10.
153. Bhattacharyya B.K., Raychaudhuri B. Aeromagnetic and
geological interpretation of a section of The Appalachian Belt
in Canada //Canadian J. of Earth Sciences, 1967, Vol. 4, No. 6,
pp.1015-1037.
154. Board C. Maps as models //Models in geography. L.: Me-
thuen & Co, Ltd, 1974, pp.671-725.
155. Boutoura C. Line generalization using spectral techni-
ques //Cartographica, 1989, Vol. 26, No. 3-4, pp.33-48.
156. Boyle A.R. The quantised line //Cartogr. J., 1970, Vol.
7, No. 2, pp.91-94.
157. Brassel K.E., Weibel R. A review and conceptual frame-
work of automated map generalization //Int. J. Geographical In-
formation Systems, 1988, Vol. 2, No. 3, pp.229-244.
158. Brophy D.M. An automated methodology for linear genera-
lization in thematic cartography //Proc. Amer. Congr. Surveying
& Mapping. 33th Annual Meeting. Falls Church: ACS&M, 1973, pp.
300-314.
159. Buttenfield B. Treatment of the cartographic line //Car-
tographica, 1985, Vol. 22, No. 2, pp.1-26.
160. Campbell J. Introductory Cartography. Englewood Cliffs:
Prentice-Hall, 1984, 406 p.
161. Carstensen L.W.Jr. A fractal analysis of cartographic
generalization //Amer. Cartogr., 1989, Vol. 16, No. 3, pp.181-
189.
162. Chorley R.J., Haggett P. Trend-surface mapping in geo-
graphical research //Transactions of Institute of British Geo-
graphers, 1965, No. 37, pp.47-67.
163. Christ F. Automatically Simbolized output of map data
compiled and selected from a data base //Nachr. Karten- und Ver-
messungswesen, 1975, R. 2, H. 32, s.5-16.
164. Christ F. Fully automated and semi-automated interactive
generalization, symbolization and light drawing of a small scale
topographic map //Nachr. Karten- und Vermessungswesen, 1976, R.

- 2, H. 33, s.19-36.
165. Christ F. A programm for the fully automated displacement of point and line features in cartographic generalization //Nachr. Karten- und Vermessungswesen, 1978, R. 2, H. 35, s.5-30.
166. Ciesielski J. Generalizacja osiedli miejskich na mapach topograficznych średnioskalowych //Prace Instytutu Geodezji i Kartografii, 1968, T. 15, Z. 1, s.11-117.
167. Clarke K.C. Scale-based simulation of topographic relief //Amer. Cartogr., Vol. 15, No. 2, pp.173-181.
168. Comeau M.A., Holbaek-Hanssen E. Compression and compaction of binary raster images //Auto-Carto Six: Proc. Sixth Int. Symp. on Automated Cartography. Automated Cartography: International Perspectives on Achievements and Challenges. 16-21 Oct. 1983, National Capital Region of Canada. Vol. 1. The Steering Committee SISAC, 1983, pp.362-371.
169. Connelly D.S. An experiment in contour map smoothing on the ECU Automated Contouring System //Cartogr. J., 1971, Vol. 8, No. 1, pp.59-66.
170. Cuff D.J. Mattson M.T. Thematic Maps. Their design and production. N.Y. - L.: Methuen, 1982, 169 p.
171. Das G.S.P. Some measures of generalization on thematic maps //Geographical Review of India, 1964, Vol. 26, No. 2, pp. 73-78.
172. Deetz C.H. Cartography //U.S. Department of Commerce, Coast and Geodetic Survey. Special Publ. No. 205. Wash.: U.S. Government Prining Office, 1936, 83 p.
173. Denègre J. Automatische generalisierung //Nachr. Karten- und Vermessungswesen, 1972, R. 1, H. 55, s.5-9.
174. Dettori G., Falcidieno B. An algorithm for selecting main points on a line //Computers & Geosciences, 1982, Vol. 8, No. 1, pp.3-10.
175. Deveau T.J. Computer plotting of auto-generalized coastline and depth contours //Cartographica, 1986, Vol. 23, No. 1-2, pp.85-95.
176. Dixon O.M. The selection of towns and other features on atlas maps of Nigeria //Cartogr. J., 1967, Vol. 4, No. 1, pp. 16-22.
177. Douglas D.H., Peucker T.K. Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature //Canadian Cartographer, 1973, Vol. 10, No. 2, pp.112-122.
178. Eckert M. On the nature of maps and map logic //Bull.

of the American Geographical Society, 1908, Vol. 40, No. 6, pp. 344-351.

179. Eckert M. Die Kartenwissenschaft. Forschungen und grundlegen zu einer Kartographie als Wissenschaft. Berlin - Leipzig: Walter de Gruyter & Co, Bd. 1, 1921, 640 s.; Bd. 2, 1925, 880 s.

180. Frančula N., Gracin L., Lapaine M. i dr. Prilog automatskoj generalizaciji linijskih kartografskih elemenata //Geod. list, 1981, 4-6, s.95-105.

181. Franke U. A method for cartographical selection according to qualitative aspects //Automation - the new trend in - cartography. Final Report on the ICA Commission 3 (Automation in Cartography) Scientific Working Session, August 1973. Budapest: Institute of Surveying & Mapping, 1974, pp.165-176.

182. Fukue K., Shimoda H., Sakata T. Complete lineament extraction with the aid of shadow-free Landsat image //Machine processing of remotely sensed data with special emphasis on range, forest, and wetlands assessment: Proc. Seventh Int. Symp., June 23-26, 1981. West Lafayette: Purdue University, 1981, pp.94-102.

183. Generalization and omission of detail: an economic approach to the problem of the chart maintenance //Fourth United Nations Regional Cartographic Conference for Asia & the Far East, 21 Nov. - 5 Dec. 1964, Manila. Vol. 2. Proc. of the Conference and Technical Papers. N.Y.: United Nations, 1966, pp. 242-248.

184. Gottschalk H.-J. Ein Modell zur automatischen Durchführung der Verdrängung bei der Generalisierung //Nachr. Karten- und Vermessungswesen. 1972, R. 1, H. 58, s.21-26.

185. Gottschalk H.-J. Automatische Generalisierung von Siedlungen, Höhenlinien, Wasserläufen massstäbige topographische Karte //Zeitschrift für Vermessungswesen, 1974a, Nr. 8, s.338-342.

186. Gottschalk H.-J. The derivation of a measure for the diminished content of information of cartographic lines smoothed by means of a gliding arithmetic mean //Automation - the new trend in - cartography. Final Report on the ICA Commission 3 (Automation in Cartography) Scientific Working Session, August 1973, Budapest. Budapest: Institute of Surveying & Mapping, 1974b, pp.61-65.

187. Gottschalk H.-J. The manipulation of raster data //Nachr. Karten- und Vermessungswesen, 1975, R. 2, H. 32, s.17-26.

188. Gottschalk H.-J. Die Glättung von Linien im Raster // Nachr. Karten- und Vermessungswesen, 1981, R. 1, H. 82, s.55-65.
189. Greenhood D. Mapping. Chicago - L.: The University of Chicago Press, 1964, 289 p.
190. Hájek M. Problém systému kartografickej generalizácie v podmienkach automatizácie //Geodetický a kartografický obzor, 1972, R. 18 (60), č. 8, s.209-214.
191. Hájek M., Mitášova I., Šipos J. The problem of analytical generalization //Automation - the new trend in - cartography. Final Report on the ICA Commission 3 (Automation in Cartography) Scientific Working Session, August 1973, Budapest. Budapest: Institute of Surveying & Mapping, 1974, pp.177-186.
192. Hake G. Zum Begriffssystem der Generalisierung //Nachr. Karten- und Vermessungswesen, Sonderheft zum 65 Geburstag von Prof. Knorr, 1975, s.53-62.
193. Hake G. Kartographie. Bd. 1. Berlin - N.Y.: Walter de Gruyter, 1982, 342 s.
194. Hašek A. Výběr sídel a jeho problémy //Geodetický a kartografický obzor, 1965, R. 11, č. 6, s.149-158.
195. Henning M.D., Hargreaves D. Techniques of computer-assisted generalization: accommodating subjective cognition and objectiv logic //Cartographica, 1983, Vol. 20, No. 4, pp.55-64.
196. Hess G. Die Generalisierung von Kartennamen, dargestellt am Beispiel der Ortschaftsnamen //Wissenschaftliche Zeitschrift der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, 1968, Bd. 17, R. M, Nr. 1/2, s.49-60.
197. Hinks A.R. Maps and survey. 3rd ed. Cambridge: The University Press, 1933, 283 p.
198. Hobbs W.H. Lineaments of The Atlantic Border Region // Bull. of the Geol. Soc. of America, 1904, Vol. 15, pp.483-506.
199. Hoffmann F. Zum Problem der automatischen Generalisierung linearer Kartenelemente am Beispiel des Flussnetzes //Vermessungstechnik, 1971, Bd. 19, H. 12, s.445-447.
200. Hoffmann F. Mathematical modelling as a basis of cartometrical analysis and automated generalization //Automation - the new trend in - cartography. Final Report on the ICA Commission 3 (Automation in Cartography) Scientific Working Session, August 1973, Budapest. Budapest: Institute of Surveying & Mapping, 1974, pp.53-60.
201. Hözel F. Generalization problem in hill shading //Nachr. Karten- und Vermessungswesen, 1963, R. 5, Nr. 5, s.23-33.
202. Imhof E. Tasks and methods of theoretical cartography //

- Int. Jahrbuch für Kartographie. Bd. 3. Gütersloh: C.Bertelsmann Verlag, 1963, pp.13-25.
203. Imhof E. Cartographic relief presentation. Berlin - N.Y.: Walter de Gruyter, 1982, 389 p.
204. Jenks G.F. Generalization in statistical mapping //Annals of the Assoc. of Amer. Geographers, 1963, Vol. 53, No. 1, pp.15-26.
205. Jenks G.F. Lines, computers, and human frailties //Annals of the Assoc. of Amer. Geographers, 1981, Vol. 71, No. 1, pp.1-10.
206. Jenks G.F. Geographic logic in line generalization //Cartographica, 1989, Vol. 26, No. 1, pp.27-42.
207. Johansen T.M. A programm for editing and for some generalizing operations (for derivation of a small scale map from digital data in 1:50000) //Automation - the new trend in - cartography. Final Report on the ICA Commission 3 (Automation in Cartography) Scientific Working Session, August 1973, Budapest. Budapest: Institute of Surveying & Mapping, 1974, pp.131-137.
208. Jones C.B., Abraham I.M. Line generalization in a global cartographic database //Cartographica, 1987, Vol. 24, No. 3, pp.32-45.
209. Kadmon N. Automated selection of settlements in map generalisation //Cartogr. J., 1972, Vol. 9, No. 2, pp.93-98.
210. Keates J.S. Cartographic design and production. N.Y.: A Halsted Press Book, 1973, 240 p.
211. Knor H. Generalization, revision, and automation, three fundamental problem in cartography //Nachr. Karten- und Vermessungswesen, 1962, R. 5, H. 4, s.7-21.
212. Koeman C. The impact of photography from space on small-scale- and atlas-cartography //Int. Jahrbuch für Kartographie. Bd. 10. Gütersloh: Kartographisches Institut Bertelsmann, 1970, s.35-40.
213. Koeman C., Van Der Weiden F.L.T. The application of computation and automatic drawing instruments to structural generalization //Cartogr. J., 1970, Vol. 7, No. 1, pp.47-49.
214. Kovářík P. Vícenásobné normativy v kartografickém výběru //Sborník VAAZ, 1984, R. B, T. 3, s.13-26.
215. Kretschmer I. Die Generalisierung thematischer Kartenaussagen - ein Hauptproblem des wissenschaftlichen Kartenentwurfs //Kartogr. Nachrichten, 1978, Bd. 28, Nr. 4, s.129-130.
216. Kretschmer I. Theoretical cartography: position and tasks //Int. Yearbook of Cartography. Vol. 20. Gütersloh: Kar-

- tographisches Institut Bertelsmann, 1980, pp.142-155.
217. Kuligowski J. Generalizacja kartograficzna, jej istota i metody //Przeglad geodezyjny, 1957, R. 13, Nr. 8, s.299-303.
218. Lawrence G.R.P. Cartographic methods. L.: Methuen & Co, 1971, 162 p.
219. Lay H.-G., Weber W. Waldgeneralisierung durch digitale Rasterdatenverarbeitung //Nachr. Karten- und Vermessungswesen, 1983, R. 1, H. 92, s.61-71.
220. Leberl F.W., Olson D., Lichtner W. ASTRA - a system for automated scale transition //Photogramm. Eng. & Remote Sensing, 1986, Vol. 52, No. 2, pp.251-258.
221. Levorsen A.I. Convergence studies in the Mid-Continent Region //Bull. Amer. Assoc. of Petroleum Geologists, 1927, Vol. 11, No. 7, pp.657-682.
222. Li Z. An algorithm for compressing digital contour data //Cartogr. J., 1988, Vol. 25, No. 2, pp.143-146.
223. Lichtner W. EDV-unterstützte Durchführung von Verdrängungsprozessen bei der kartographischen Generalisierung in topographischen Karten //Nachr. Karten- und Vermessungswesen, 1977, R. 1, H. 72, s.65-75.
224. Lichtner W. Location characteristics and the sequence of computer assisted processes of cartographic generalization //Nachr. Karten- und Vermessungswesen, 1978, R. 2, H. 35, s.65-75.
225. Lichtner W. Computer-assisted processes of cartographic generalization in topographic maps //Geo-Processing, 1979a, Vol. 1, No. 2, pp.183-199.
226. Lichtner W. Lagemerkmale und Reihenfolge EDV-unterstützter Generalisierungsprozesse //Nachr. Karten- und Vermessungswesen, 1979b, R. 1, H. 78, s.43-53.
227. Lundqvist G. Generalization - a preliminary survey of an important subject //Canadian Surveyor, 1959, Vol. 14, No. 10, pp.466-470.
228. Lundquist G. Generalization of communication net-works //Nachr. Karten- und Vermessungswesen, 1963, R. 5, Nr. 5, s.35-42.
229. Maguire D.J. Generalization, fractals and spatial databases //SUC Bull., 1986, Vol. 20, No. 2, pp.96-99.
230. Maling D.H. Some quantitative ideas about cartographic generalization //Nachr. Karten- und Vermessungswesen, 1963, R. 5, Nr. 5, s.6-22.
231. Mallet M.J. Problemes de generalisation (donnees qualitatives et quantitatives) et de mise a jour en cartographic thématique //Nachr. Karten- und Vermessungswesen, 1962, R. 5, H. 4,

s.107-112.

232. Mandelbrot B. How long is the coast of Britain? Statistical self-similarity and fractional dimension //Science, 1967, Vol. 156, No. 3775, pp.636-638.
233. Marino J.S. Identification of characteristic points along naturally occurring lines: an emperical study //Canadian Cartographer, 1979, Vol. 16, No. 1, pp.70-80.
234. Mark D.M. Conceptual basis for geographic line generalization //Auto-Carto 9: Proc. Ninth Int. Symp. on Computer-Assisted Cartography, Baltimore, Apr. 2-7, 1989. Falls Church: ASP&RS, ACS&M, 1989, pp.68-77.
235. Mark D.M., Csillag F. The nature of boundaries on "area-class" maps //Cartographica, 1989, Vol. 26, No. 1, pp.65-78.
236. 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, pp.B1-B10.
237. McMaster R.B. A statistical analysis of mathematical measures for linear simplification //Amer. Cartogr., 1986, Vol. 13, No. 2, pp.103-116.
238. McMaster R.B. Automated line generalization //Cartographica, 1987a, Vol. 24, No. 2, pp.74-111.
239. McMaster R.B. The geometric properties of numerical generalization //Geographical Analysis, 1987b, Vol. 19, No. 4, pp.330-346.
240. McMaster R.B. Introduction to "Numerical Generalization in Cartography" //Cartographica, 1989a, Vol. 26, No. 1, pp.1-6.
241. McMaster R.B. The integration of simplification and smoothing algorithms in line generalization //Cartographica, 1989b, Vol. 26, No. 1, pp.101-121.
242. Meyer U. Software-developments for computer-assisted generalization //Auto Carto London: Proc. Int. Conf. on the Acquisition Managment & Presentation of Spatial Data; London, 14-19 Sept. 1986. Vol. 2: Digital Mapping & Spatial Information Systems. L.: Auto Carto London Ltd, 1986, pp.247-256.
243. Miller O.M., Voskuil R.J. Thematic map generalization //Nachr. Karten- und Vermessungswesen, 1962, R. 5, H. 4, s.113-117.
244. Miller O.M., Voskuil R.J. Thematic-map generalization //Geographical Review, 1964, Vol. 54, No. 1, pp.13-19.
245. Monmonier M.S. Cartography and mapping //Progress in Human Geography, 1982a, Vol. 6, No. 3, pp.441-448.
246. Monmonier M.S. Computer-assisted cartography. Princip-

- les and prospects. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1982b, 214 p.
247. Monmonier M.S. Raster-mode area generalization for land use and land cover maps //Cartographica, 1983, Vol. 20, No. 4, pp.65-91.
248. Monmonier M.S. Toward a practical model of cartographic generalisation //Auto Carto London: Proc. Int. Conf. on the Acquisition Management and Presentation of Spatial Data; London, 14-19 Sept. 1986, Vol. 2: Digital Mapping & Spatial Information Systems. L.: Auto Carto London Ltd, 1986, pp.257-266.
249. Monmonier M.S. Interpolated generalization: cartographic theory for expert-guided feature displacement //Cartographica, 1989, Vol. 26, No. 1, pp.43-64.
250. Moor R.F., Simpson C.J. Image analysis - a new aid in morphotectonic studies //Proc. 17th Int. Symp. Remote Sensing of Environment. Vol. 3. Ann Arbor: Environmental Research Institute of Michigan, 1983, pp.991-1002.
251. Muehrcke P. Thematic cartography //Commission on College Geography. Resource Paper No. 19. Wash.: Assoc. of Amer. Geographers, 1972, 66 p.
252. Muller J.-C. Fractal and automated line generalization //Cartogr. J., 1987, Vol. 24, No. 1, pp.27-34.
253. Muller J.C., Honsaker J.L. Visual versus computerized seriation: the implications for automated map generalization //Auto-Carto Six: Proc. Sixth Int. Symp. on Automated Cartography. Automated Cartography: International Perspectives on Achievements & Challenges. 16-21 Oct. 1983, National Capital Region of Canada. Vol. 2. The Steering Committee SISAC, 1983, pp. 277-287.
254. Multilingual dictionary of technical terms in cartography. Wiesbaden: Franz Steiner Verlag GMBH, 1973, 573 p.
255. Neumann J. Gibt es bei der quantitativen Siedlungsgeneralisierung Gesetzmässigkeiten? //Nachr. Karten- und Vermessungswesen, 1972, R. 1, H. 55, s.45-91.
256. Nickerson B.G. Automated cartographic generalization for linear features //Cartographica, 1988, Vol. 25, No. 3, pp. 15-66.
257. Oommen B.J., Kashyar R.L. Scale preserving smoothing of islands and lakes //Auto-Carto Six: Proc. Sixth Int. Symp. on Automated Cartography. Automated Cartography: International Perspectives on Achievements & Challenges. 16-21 Oct. 1983, National Capital Region of Canada. Vol. 2. The Steering Committee SISAC, 1983, pp. 243-251.

258. Opheim H. Fast data reduction of a digitized curve // Geo-Processing, 1982, Vol. 2, No. 1, pp.33-40.
259. Ostrowski J. Generalizacja w procesie tworzenia komputerowych map tematycznych w systemie TEMKART //Prace Instytutu Geodezji i Kartografii, 1986, T. 33, Z. 2 (77), s.33-61.
260. Pannekoek A.J. Generalization of coastlines contours // Int. Jahrbuch für Kartographie. Bd. 2. Gütersloh::C.Bertelsmann Verlag, 1962, s.55-75.
261. Pannekoek A.J. Principles of generalization in cartography, with special reference to contours //Nachr. Karten- und Vermessungswesen, 1963, R. 5, Nr. 5, s.5.
262. Papo H.B., Gelbman E. Digital terrain models for slopes and curvatures //Photogramm. Eng. & Remote Sensing, 1984, Vol. 50, No. 6, pp.695-701.
263. Pawlak W. Niektóre problemy generalizacji hipsometrii //Acta Universitatis Wratislaviensis, 1972, No. 161, Studia geograficzne, 16, 55 s.
264. Perkal J. Próba objektywnej generalizacji //Geodesia i Kartografia, 1958, T. 7, Z. 2, s.130-142.
265. Pincus H.J., Dobrin M.B. Geological application of optical data processing //J. of Geophysical Research, 1966, Vol. 71, No. 20, pp.4861-4869.
266. Podlacha K. Generalizacja osiedli wiejskich na mapach topograficznych średnioskalowych //Prace Instytutu Geodezji i Kartografii, 1966, T. 13, Z. 3 (30), s.3-90.
267. Raisz E. General cartography. N.Y.- L.: McGraw-Hill Book Company, 1938, 370 p.
268. Raisz E. Princeples of cartography. N.Y. - San Francis-ck - Toronto - L.: McGraw-Hill Book Company, 1962, 315 p.
269. Ramer U. An iterative procedure for the polygonal approximation of plane curves //Computer Graphics & Image Processing, 1972, Vol. 1, No. 3, pp.244-256.
270. Reeves E.A. Maps and map-making. L.: The Royal Geographical Soc., 1910, 145 p.
271. Rey P. Généralisation cartographique de la végétation //Nachr. Karten- und Vermessungswesen, 1963, R. 5, Nr. 5, s. 47-54.
272. Rhind D.W. Automated contouring - an empirical evaluation of some differing techniques //Cartogr. J., 1971, Vol. 8, No. 2, pp.145-158.
273. Rhind D.W. Generalisation and realism within automated cartographic systems //Canadian Cartographer, 1973, Vol. 10,

No. 1, pp.51-62.

274. Robinson A.H., Sale R.D. Elements of cartography. 3rd ed. N.Y. - L. - Sydney - Toronto: John Wiley & Sons, 1969, 415 p.

275. Robinson J.E., Charlesworth H.A.K., Ellis M.J. Structural analysis using spatial filtering in interior plains of South-Central Alberta //Amer. Assoc. of Petroleum Geologists Bull., 1969, Vol. 53, No. 11, pp.2341-2367.

276. Schittenhelm R. The problem of displacement in cartographic generalization attempting a computer-assisted solution //Nachr. Karten- und Vermessungswesen, 1976, R. 2, H. 33, s. 65-74.

277. Schittenhelm R. Zum Problem der Verdrängung als Teilvorgang der Generalisierung topographischer Karten - Hierarchievorschlag und Versuch einer EDV-gestützten Lösung //Nachr. Karten- und Vermessungswesen, 1978, R. 1, H. 74, s. 5-19.

278. Schweinfurth G. Digitale Bildverarbeitung (DBV) am Institut für Photogrammetrie und Topographie (IPT) der Universität Karlsruhe - Kartographische Anwendungen //Nachr. Karten- und Vermessungswesen, 1981, R. 1, H. 85, s.117-135.

279. Schweinfurth G. Höhenliniengeneralisierung mit Methoden der digitalen Bildverarbeitung //Nachr. Karten- und Vermessungswesen, 1984, R. 1, H. 94, s.133-155.

280. Shea K.S., McMaster R.B. Cartographic generalization in a digital environment: when and how to generalize //Auto-Carto 9: Proc. Ninth Int. Symp. on Computer-Assisted Cartography, Baltimore, Apr. 2-7, 1989. Falls Church: ASPRS, ACSM, 1989, pp.56-67.

281. Sherman J.C. New horizons in cartography: function, automation, and presentation //Int. Jahrbuch für Kartographie. Bd. 1. Gütersloh: C.Bertelsmann Verlag, 1961, s.13-19.

282. Sirkó M. Rozwój badań nad generalizacją kartograficzną //Czasopismo geograficzne, 1988, T. 59, Z. 1, s.51-65.

283. Srnka E. Zákonitý výber v kartografické generalizaci a jeho analytické vyjádření //Geodetický a kartografický obzor, 1967, R. 13 (55), č. 2, s.29-39.

284. Srnka E. Analiticke řešení zákonitě generalisace v kartografii //Geodetický a kartografický obzor, 1970, R. 16, č. 4, s.79-84.

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

286. Srnka E. Mathematico-logical models in cartographic generalization //Automation - the new trend in - cartography. Final Report on the ICA Commission 3 (Automation in Cartography) Scientific Working Session, August 1973, Budapest. Budapest: Institute of Surveying & Mapping, 1974, pp.45-52.
287. Stegema L. Tools for automation of map generalization: the filter theory and the coding theory //ibidem, 1974, pp.66-95.
288. Steward H.J. Cartographic generalisation. Some concepts and explanation //Cartographica. Suppl. No. 1 to Canadian Cartographer, Vol. 11, Monograph No. 10, 1974, 78 p.
289. Thapa K. A review of critical points detection and line generalization algorithms //Surveying & Mapping, 1988a, Vol. 48, No. 3, pp.185-205.
290. Thapa K. Automatic line generalization using zero-crossings //Photogramm. Eng. & Remote Sensing, 1988b, Vol. 54, No. 4, pp.511-517.
291. Thapa K. Critical points detection and automatic line generalisation in raster data using zero-crossing //Cartogr. J., 1988c, Vol. 25, No. 1, pp.58-68.
292. Tobler W.R. Automation in the preparation of thematic maps //Cartogr. J., 1965, Vol. 2, No. 1, pp.32-38.
293. Tobler W.R. Numerical map generalization //Michigan Inter-university Community of Mathemat. Geographers. Discus. Paper, 1966, No. 8, pp. 1-27; & Cartographica, 1989, Vol. 26, No. 1, pp.9-25.
294. Tobler W.R. Geographical filters and their inverses //Geographical Analysis, 1969, Vol. 1, No. 3, pp.234-253.
295. Töpfer F., Pillewizer W. The principles of selection //Cartogr. J., 1966, Vol. 3, No. 1, pp.10-16.
296. Töpfer F. Kartigraphische Generalisierung. Ergänzungsheft Nr. 276 zu Petermanns Geographischen Mitteilungen. Leipzig: Haak, Gotha, 1974, 336 s.
297. Töpfer F. Planning the selection process in automated mapping //Automation - the new trend in - cartography. Final Report on the ICA Commission 3 (Automation in Cartography) Scientific Working Session, August 1973, Budapest. Budapest: Institute of Surveying & Mapping, 1974, pp.139-147.
298. Töpfer F. Zur Entwicklung mathematischer Grundlagen und Verfahren der Generalisierung //Dresdener Kartographische Beiträge. E. Lehmann und K.A. Salishev zum 80. Geburtstag. Kartographischer Bausteine 6, T. 1. Dresden: Technische Universität Dre-

- sden, 1985, s.57-68.
299. Tost R. Mathematische Methoden zur Datenreduktion digitalisierter Linien //Nachr. Karten- und Vermessungswesen, 1972, R. 1, H. 56, s.49-61.
300. Uhrig H. Untersuchung zur Gesetzmässigkeit der quantitativen Auswahl der Quellflüsse und Bäche bei der Generalisierung der Topographischen Übersichtskarte //Nachr. Karten- und Vermessungswesen, 1972, R. 1, H. 55, s.93-106.
301. Uhrig H. Erste praktische Versuche mit verschiedenen Programmen zur Liniengeneralisierung //Nachr. Karten- und Vermessungswesen, 1979, R. 1, H. 79, s.131-165.
302. Vanicek P., Woolnough D.F. Reduction of linear cartographic data based on generation of pseudo-hyperbolae //Cartogr. J., 1975, Vol. 12, No. 2, pp.112-119.
303. Vicars D.W., Robinson G.J. Generalisation from large to medium and small scale Ordnance Survey maps using expert systems techniques //Auto Carto London: Proc. Int. Conf. on the Acquisition Management and Presentation of Spatial Data; London, 14-19 Sept. 1986. Vol. 2: Digital Mapping and Spatial Information Systems. L.: Auto Carto London Ltd, 1986, pp.267-275.
304. Watson W.C. A study of the generalisation of small-scale map series //Int. Jahrbuch für Kartographie. Bd. 10. Gütersloh: Kartographisches Institut Bertelsmann, 1970, s.24-34.
305. Weber W. Optimal approximation in automated cartography //Optimal Estimation in Approximation Theory. The IBM Research Symposia Series. N.Y. - L.: Plenum Press, 1977, pp.201-213.
306. Weber W. Liniengeneralisierung und Datenreduktion unter dem Gesichtswinkel der mathematischen Optimierung //Nachr. Karten- und Vermessungswesen, 1978, R. 1, H. 74, s.55-66.
307. Weber W. Automationsgestützte Generalisierung //Nachr. Karten- und Vermessungswesen, 1982, R. 1, H. 88, s.77-108.
308. Weymar H. Gesetzmässiges Generalisieren - eine Forderung der modernen Kartographie //Vermessungstechnik, 1959, Bd. 7, H. 3, s.49-54.
309. White E.R. Assessment of line-generalization algorithms usng characteristic points //Amer. Cartogr., 1985, Vol. 12, No. 1, pp.17-27.
310. Whyatt J.D., Wade P.R. The Douglas-Peucker line simplification algorithm //SUC Bull., 1988, Vol. 22, No. 1, pp.17-25.
311. Wingert E.A. Frequency concept in cartographic design //Proc. Amer. Congr. Surveying & Mapping, 34th Annual Meeting, St.Louis, 1974. Wash.: ACS&M, pp. 151-164.

312. Wolf G.W. A mathematical model of cartographic generalization //Geo-Processing, 1984, Vol. 2, No. 3, pp.271-286.
313. Wu H.-h. Prinzip der automatischen Generalisierung der Reliefformen //Nachr. Karten- und Vermessungswesen, 1981, R. 1, H. 85, s.163-174.
314. Zurflueh E.G. Application of two-dimensional linear wavelength filtering //Geophysics, 1967, Vol. 32, No. 6, pp.1015-1035.
315. Yoeli P. About cartographic contouring with computers //Auto-Carto Six: Proc. Sixth Int. Symp. on Automated Cartography. Automated Cartography: International Perspectives on Achievements & Challenges. 16-21 Oct. 1983, National Capital Region of Canada. Vol. 2. The Steering Committee SISAC, 1983, pp.262-266.
316. U.S. Patent No. 4698759, 06.10.1987. G-01Y 3/18. Eliason J.R., Eliason V.L.C. Process for structural geologic analysis of topography and point data.

