

В. С. Тикунов

МОДЕЛИРОВАНИЕ В КАРТОГРАФИИ

Рекомендовано Государственным комитетом
Российской Федерации по высшему образованию
в качестве учебника для студентов,
обучающихся по направлению "География",
специальности "Картография"

Издательство Московского университета
1997

ББК 26.1
Т 40
УДК 528.9

Федеральная программа книгоиздания России

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор

В. Г. Бондур,

доктор физико-математических наук, профессор

С. М. Гусейн-Заде,

доктор технических наук, профессор

С. А. Сладкопегцев

Тикунов В.С.

Т 40 **Моделирование в картографии: Учебник.** - М.: Изд-во МГУ, 1997. - 405 с.

ISBN 5-211-03346-9

Учебник посвящен современным аспектам тематической картографии: рассматриваются принципы и критерии моделирования тематического содержания карт, дается разработка методов моделирования структуры, взаимосвязи и динамики географических явлений, сложных математико-картографических моделей, анаморфоз, уделено внимание вопросам надежности моделирования, автоматизации в картографии и геоинформатике.

Для студентов картографических, географических, экологических, геологических и других специальностей, изучающих и использующих методы пространственно-временного моделирования.

ISBN 5-211-03346-9

ББК 26.1

© В. С. Тикунов, 1997

ВВЕДЕНИЕ

Прогресс в современной географии определяется многими факторами и условиями. В их числе можно выделить методы и средства географических исследований, бурно совершенствующиеся в настоящее время, особенно в связи с использованием системного подхода, математики, вычислительной техники и автоматизированных устройств. В частности, многогранны аспекты применения моделирования и средств автоматизации в картографии, которая, относясь к числу точных наук, издавна использует математические методы для построения картографического изображения. С конца 60-х годов методы моделирования все чаще стали применяться для формирования содержания тематических карт, в целях переработки исходных данных соответственно задачам картографирования. Современное развитие также неразрывно связано со все возрастающей ролью автоматизации.

Актуальность разработки вопросов моделирования и автоматизации в картографии определяется необходимостью более эффективно использования обширных массивов данных, ускорением и объективизацией процесса создания карт и расширением сферы их практического применения. Это прежде всего относится к задачам охраны окружающей среды и рационального природопользования, все более широкому применению карт в научных исследованиях и народнохозяйственной практике. По мере расширяющегося использования космических материалов и необходимости обработки больших информационных массивов также становится актуальным комплексное применение электронно-вычислительной техники и картографической автоматизации.

Картография неразрывно связала себя с новой прогрессивной сферой исследований — геоинформатикой, возникшей на стыке картографии, информатики, географии и математики. Наиболее примечательная черта современного этапа развития геоинформатики в стране состоит в переходе к новому конструктивному периоду ее развития. Это связано с созданием благоприятных концептуальных, технических и организационных условий и все более четко сознаваемой необходимости в географических информационных системах и в сфере профессиональной географии, и в области совершенствования информационного обеспечения важных народнохозяй-

ственных задач, рационального использования информационных ресурсов.

В настоящее время задачи геоинформатики выходят за рамки картографии, делая ее основой для интеграции частных географических и других (геологических, почвенных и т.д.) дисциплин для комплексных системных исследований, и, видимо, есть рациональное зерно во взгляде на геоинформационные системы как на модель географических знаний.

Вначале информационные системы рассматривались как первый этап автоматизированного создания карт, позднее в функции географических информационных систем, в их широком понимании, стали включать блоки моделирования и автоматизированного воспроизведения карт. В области автоматизации в картографии, показавшей свое значение в создании однотипных массовых произведений, встала задача быстрого переналаживания и перекомпоновки технических систем и более гибкого использования аппарата их математического обеспечения для решения широкого круга нетиповых задач.

Следует упомянуть об опытах формирования искусственного интеллекта для целей географии и картографии как моделирования процесса познания явлений в подражание человеческой деятельности с помощью так называемых эвристических программ. В основу такого процесса закладывается оценка явления целиком, без его разложения на части, которые можно моделировать традиционным путем. В этом случае дается приблизительное описание, детали которого предстоит "доработать" эвристическим программам ЭВМ. Такой подход важен в географии, когда мы не имеем возможности в деталях описать сложные географические явления.

Что касается методов моделирования, то здесь стали разрабатываться схемы их многовариантной реализации и подходов к оценке надежности получаемых результатов. Ведутся работы по созданию специальных методов "пространственной статистики", учитывая первостепенную значимость для географии и картографии учета пространственных аспектов и неприспособленности для этих целей имеющейся математической статистики. Видимо, следует расширить эту область исследований и заняться разработкой методов "пространственной математики" или "пространственного математического моделирования".

Продолжают привлекать внимание области взаимного использования картографического и других методов, например комплексирования с аэрокосмическими, математическими моделями и др. Вновь появился интерес к созданию картографических кинофильмов и

использованию голографии для тематической картографии. Назрела необходимость стандартизации картографической терминологии, особенно в области автоматизации. Поэтому в данной книге речь пойдет о методах моделирования и средствах автоматизации и геоинформатики, без которых немыслимо дальнейшее развитие картографии.

Основой для книги служат лекции, читаемые автором в Московском университете с 1975 г.; отдельные из них были прочитаны в других университетах России, Чехии, США и Нидерландов, а также в виде докладов на многочисленных международных и национальных конференциях.

Автор благодарен всем соавторам, с кем проведены исследования в самых различных областях географии и без участия которых данная работа была бы просто не возможна. Особенно хочется отметить Сергея Николаевича Сербенюка, светлой памяти которого посвящается данный труд. Автора с Сергеем Николаевичем связывали многолетняя дружба и совместная работа, в том числе по тематике данной книги. Например, фрагменты второй и четвертой глав по существу являются частями совместно написанных статей. Настойчивость, доброжелательность, обаяние, присущие Сергею Николаевичу, умение увидеть перспективы науки собирали вокруг него многочисленных друзей и учеников. Его образ еще долгие годы будет для целого поколения картографов ярким примером беззаветного служения науке.

Глава I

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ В ТЕМАТИЧЕСКОЙ КАРТОГРАФИИ

I.1. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ В ТЕМАТИЧЕСКОЙ КАРТОГРАФИИ

Развитие тематической картографии — непрерывный процесс, имеющий в те или иные периоды времени большую или меньшую скорость, причем существенны также различия в степени внимания к определенным сторонам науки: в отдельные периоды доминировала разработка методических аспектов, усиливался интерес к теории, иногда на первый план выходила автоматизация создания карт и т.д. В настоящее время не ослабевает интерес к теории картографической науки.

Теория картографии — это совокупность основных положений о формах и методах связи между реально существующими явлениями и процессами и их отображением на картах. Здесь могут быть обособлены теория картографических проекций, теория генерализации и т.д. В пределах теории картографии иногда выделяется особый раздел — теоретическая картография, исследующая сферу формирования картографического знания. В ряде работ теория картографии и теоретическая картография рассматриваются как синонимы. Здесь, видимо, ситуация аналогична теории географии и теоретической географии или теории физики и теоретической физики (Гохман, Саушкин, 1971). В данном параграфе рассмотрим наиболее важные неоднозначно понимаемые сферы картографии.

Прежде всего отметим различие даже в основополагающих понятиях, таких, как карта и картография. В отечественной картографии карты определяются как плоские образно-знаковые пространственно-временные модели геосистем и их элементов (Салищев, 1990), а А.Ф. Асланикашвили (1974) считал, что это знаковая, пространственноподобная идеально-материальная модель. Н.В. Измайлова (1976) характеризует карту как модель конкретного простран-

ства земных материальных предметов и явлений, а А.А. Лютый (1981) — как текст соответствующего языка. Е.Е. Ширяев (1984) пишет, что это графоматематическая форма представления информации о Земле, небесных телах и космическом пространстве изобразительными средствами на математически определенной поверхности (проекции). Обоснование каждой из этих точек зрения детально рассмотрено в литературе (Салищев, 1982; Берлянт, 1986; Лютый, 1988; и др.).

Отметим также, что картография иногда рассматривается как наука, технология или метод исследования. Если рассматривать картографию как науку, то она должна иметь собственный объект исследования, если как метод — то это совокупность приемов, используемых для познания действительности, и, наконец, если она технология — то это совокупность средств, обеспечивающих производственный процесс в системе “создание—использование карт”. В целом же все три взгляда верны. Различие состоит лишь в том, с какой позиции рассматривается картография и что от нее требуется в каждом конкретном случае. Для картографа, профессионального ученого — это объект исследования, о котором накапливается и систематизируется его специфическая область знания. Для географа, пользующегося в своей работе картой, — совокупность приемов географического исследования по картам, т.е. это метод. А например, для производственника-картографа, занимающегося составлением и изданием карт, весь этот процесс может рассматриваться как технологическая последовательность.

Переход от разработки практических вопросов создания разнообразных карт, технологии их изготовления, оформления и издания, методики формирования тематического содержания карт к теоретическому обоснованию всей системы “создание—использование карт” знаменует выход картографии на новый уровень исследований. Разработка теоретических аспектов картографии велась в соответствии с запросами практики в процессе всего периода существования картографии или, что еще лучше, опережала практические исследования, намечая для них цели и ориентиры. Однако стремление осмыслить все сферы картографической деятельности в комплексе, взглянуть на картографию как на единую систему частных дисциплин от математической картографии до оформления карт и на ее место в комплексе смежных с ней наук, обосновать систему методов и приемов создания и использования карт появилось в последние годы. Отчасти этому способствовало широкое распространение системного подхода, имеющего междисциплинарный характер и сыгравшего положительную роль в картографии (Салищев, 1982, с. 50).

В современной тематической картографии четко прослеживаются тенденции к системному картографированию территории. Системное картографирование требует использования обширных массивов разносторонней информации о геосистемах, рациональных и эффективных способов ее обработки и построения множества аналитических, комплексных и синтетических карт природных и социально-экономических явлений. Системный подход к изучению территории предопределяет широкое применение карт как инструмента пространственно-временного анализа. Поэтому прежде всего следует отметить несколько главных направлений, по которым происходила активная разработка системных представлений в картографии (Берлянт, 1975; Берлянт, Жуков, Тикунов, 1976).

Следует назвать взгляд на процесс “создание—использование карт” как на единую систему картографического метода познания (Салищев, 1975). В теоретической картографии доказано существование двух картографических образов. Первый создается в представлении картографа и воплощается в карту, второй формируется у потребителя при работе с картой. Из факта существования двух образов действительности непосредственно следует объективное существование двух методов: картографического метода отображения действительности (создание карт) и картографического метода исследования действительности (использование карт). Задача первого метода — создание картографической модели, задача второго — ее апостериорное использование. Органичная и тесная связь обоих методов также объективна, как и связь и взаимная обусловленность двух картографических образов.

Тематическое картографирование служит базой для использования карт. В то же время анализ, синтез и преобразования, выполняемые в процессе использования карт, ведут к созданию множества производных картографических изображений, составляющих важную часть в общей массе тематических карт. Использование карт в научной и практической деятельности обогащает тематическое картографирование не только новыми сюжетами, но и многими методическими приемами. Таким образом, процесс “создание—использование карт” представляется как система с многочисленными прямыми и обратными связями.

Второе направление системного подхода сводится к представлению о сериях взаимосвязанных тематических карт и комплексных атласах как о моделях географических систем. К.А. Салищев подчеркивал, что “суть системного подхода отчетливо проявилась в типовых атласных программах, особенно по социально-экономичес-

ким картам, где требовались целостный показ каждой системы и полнота ее основных элементов, отображение внутренних и учет внешних связей, передача соподчиненности систем разных рангов и т.д.” (Салищев, 1974, с. 19). Научно-справочные атласы могут служить первичными моделями географических комплексов в той мере, в какой они отражают отдельные компоненты и подсистемы, их взаимодействие, функционирование, динамику (Берлянт, 1975). Легенды тематических карт, составленные по таксономическому принципу, часто моделируют иерархию компонентов. В ряде случаев карты содержат прогноз вероятного развития систем или отдельных процессов.

Третье направление внедрения системных представлений в тематической картографии связано с разработкой системы взаимосвязанных приемов создания и использования карт. В литературе, посвященной применению системного метода в географии, нередко отмечаются отсутствие специального аналитического аппарата и недостаточная разработанность средств изучения географических систем. Поэтому естественно обращение к картографическому методу.

Отмеченные направления системного подхода в тематическом картографировании позволяют преодолевать узкоинформационный взгляд на карту и картографию и подчеркивают ее связи с естественными и социально-экономическими дисциплинами. Развитие системного подхода в картографии, углубление запросов науки и практики вызывают необходимость создания карт, дающих синтетическую целенаправленную информацию об определенных свойствах, признаках, взаимосвязях и других содержательных аспектах характеристики географических явлений как пространственных систем разного ранга.

Это позволяет отображать на картах географические явления как целостные иерархически упорядоченные системы с учетом внутренних и внешних связей и отношений с другими системами, а также особенности функционирования и развития этих систем. Моделируя географические системы, приходим к тому, что и сам процесс моделирования тематического содержания карт становится системным. Моделирование отдельных элементов ведется с учетом их положения в пределах более обширной системы, и такой подход в картографии уже показал свою практическую значимость.

Резюмируя сказанное, отметим, что, несомненно, системный подход очень важен и для картографии и для географии; его применение позволило углубить теоретические представления, многое дало практике, но и здесь не следует допускать перегибов, трактуя его

как всеобъемлющий, способный в полной мере решить все наши проблемы, заменив методы конкретных наук. Здесь можно согласиться с В.А. Анучиным, когда он писал, что “системный подход определяется как сверхновый, всеохватывающий, отрицающий какие-либо грани (переходы) между отраслями, стирающий различия между всеми научными школами и направлениями и полностью заменяющий собой все методы и приемы, использовавшиеся наукой до применения системного подхода. В частности, такого рода абсолютизация и универсализация системного подхода получила распространение и при изучении географической среды” (Анучин, 1982, с. 308). Это метод исследования, имеющий общее междисциплинарное значение, формирующий структуру исследования, осуществляемого для получения содержательных сведений методами конкретных наук.

Если подходить к построению теории картографии с позиций лишь анализа “геометрии” явлений по В. Бунге (1967), то она вполне могла бы строиться на основе теории систем, безразличной к содержательной характеристике явлений. Содержательное направление развития картографии (Салищев, 1982; и др.) базируется на более широком основании, реализация которого предполагает, в частности, привлечение системного подхода. Не подмена методов конкретных наук, а их правильная организация для комплексного исследования явлений — вот в чем целесообразность общей теории систем. В противном случае она не дает ничего нового для теоретического осмысливания и практики, в том числе и в картографии.

Поэтому вряд ли можно согласиться с утверждением, что картография может развиваться, абстрагируясь от сущности картографируемых явлений (Kretschmer, 1980; и др.). В этом случае картография сужается до обслуживающей вспомогательной дисциплины, подчиненной нуждам частных географических или других наук и имеющей право разрабатывать лишь “чисто картографические” вопросы теории и истории картографии, построения математических проекций и т.д. Вопросы создания и использования карт в рамках сложившихся областей тематического картографирования (геологическое, почвенное, геоботаническое и др.) отсекаются и отдаются на откуп специалистам в этих конкретных науках, что разрушает имеющиеся связи между данными науками и картографией. Более того, даже рассматривая “чисто картографические” вопросы, такие, как генерализация, их нельзя решить правильным образом, не учитывая в полной мере специфики отображаемых явлений. Расчет шкал для изолиний или картограмм, проведенный машинным пу-

тем безотносительно к содержанию, может не отразить географической специфики явлений. Если же реализовать процесс моделирования, априори указав в качестве обязательных рубежей важные со смысловой точки зрения характеристики (например, изолинии в 200 м как границы низменностей и т.д.), а другие рубежи выбирать формальным путем, учитывающим величины разрывов в статистических рядах, то можно добиться требуемого компромиссного решения.

Со взглядом на то, является ли предметом изучения картографии только “геометрия” явлений или еще необходимо знание их содержательной стороны, связан еще один вопрос. Здесь необходимо выяснить роль картографа и географа-специалиста по конкретной теме исследования. Картограф, создавая тематические карты, показывающие пространственные характеристики структуры, взаимосвязей, динамики географических явлений, должен разбираться в содержательных аспектах, а с другой стороны, географ должен знать картографию. Однако уровни знаний географа и картографа различны. Если картограф использует карты для получения специальных знаний и накапливает содержательные сведения до уровня специалиста в этой области, то он сам превращается в специалиста в данной области исследований и наоборот. Таких примеров в жизни много. Картографу, не знающему содержательных особенностей картографируемых явлений, и географу, не обладающему знаниями картографии, сложно понять друг друга и создать картографическое произведение высокого научного уровня, так же как сложно программисту составить хорошую программу для ЭВМ, если он не понимает сути задачи, а специалист не знает, как на понятном ему языке поставить эту задачу.

В картографической литературе стал широко применяться термин “картографическое моделирование” (Асланикашвили, 1974; Салищев, 1982; Берлянт, 1986; и др.). Например, А.М. Берлянт по этому поводу пишет: “Само же “картографическое моделирование” будем понимать как создание, анализ и преобразование картографических произведений — заместителей реальных объектов с целью использования их для приобретения новых знаний об этих объектах. При этом следует подчеркнуть, что термин “картографическое моделирование” оправдан прежде всего в теоретико-методологическом плане, но не в качестве эквивалента терминов “проектирование и составление карт” и “использование карт”, как это иногда делается” (1986, с. 21).

Несколько слов следует сказать о соотношении картографического метода исследования и взгляда на карту как на средство моделирова-

ния. Разделяя понятия методы и средства (Тикунов, 1990а), мы должны прежде всего ответить на вопрос: в чем же между ними различие? Собственно карты — это средство фиксации пространственных отношений, но получение содержательных знаний с помощью различных технологий их анализа есть не что иное, как картографический метод исследования. К такому пониманию близка позиция А.М. Берлянта (1986, с. 21). Если же смешать эти понятия, что и делают некоторые авторы, то неудивительно, что они приходят к выводу: “картографический метод не может претендовать на какую-либо самостоятельность в содержательной географии и практически всегда является орудием в руках отраслевых специалистов” (Ретеем, Серебрянный, 1985, с. 167).

Если проводить параллели, то математическое моделирование также применяется во многих науках для получения содержательных сведений, хотя построение математических уравнений — это средство для достижения цели. Здесь, на наш взгляд, полная аналогия с картами и картографическим методом. Но, например, А.Ф. Асланикашвили, признавая за математическим моделированием возможность моделирования содержательных аспектов, картографическому моделированию такого свойства не дает (1974, с. 104–105). В частности, он писал: “Содержание предметов исследования, конечно, можно моделировать и на самом деле моделируется, но не картографическим методом и не картографией, а совершенно другими способами моделирования и соответствующими науками (например, математическое и экономическое моделирование...)” (Асланикашвили, 1974, с. 105). Нам представляется, что если под картографическим моделированием понимать даже лишь процесс нанесения значков на картографическую основу и изучение их “пространственной игры”, то это ведет к получению содержательных сведений. Пример — выводы теории центральных мест о закономерностях развития сети населенных мест (с возможным прогнозом вероятного развития определенных пунктов) из анализа размещения населенных пунктов на карте и создание самой теории из такого анализа. Аналогичное положение с дистанционными методами исследования.

Следует заострить внимание на необходимости разделения в картографии и географии таких понятий, как данные, информация, знания и возможность их представления в технических системах. Будем понимать под данными совокупность фактов, имеющих количественное или качественное выражение и выступающих, по определению М. Конечного и К. Райса (Копецнү, Rais, 1985) как сырье для получения информации, т.е. сведений о географических явле-

ниях и процессах или, по определению (Семенов, Солнцева, Тикунов, 1991), содержания сообщений или сигналов, сведений, рассматриваемых в процессе их передачи или восприятия человеком (или распознающим устройством). Знания в философском их понимании — отражение семантических аспектов географической реальности в мозгу человека или даже в технической системе [последнюю возможность не признает Л.Е. Смирнов (1987)]. Поэтому мы должны остановиться на этом подробнее, что подтверждает например, определение экспертной системы (см. гл. IX). Более того, в интеллектуальных системах, способных самообучаться на основе накопленного опыта анализа, контроля и принятия решений в процессе исследования явлений реального мира, появляются как бы знания второго уровня, или метазнания (Семенов, Солнцева, Тикунов, 1991; Waterman, 1986).

С этих позиций интересно взглянуть на классическую коммуникационную модель А. Колачного (Kolačny, 1969), Л. Ратайского (Ratajski, 1973) и их многочисленных последователей, рассматривавших карту как канал передачи информации от создателя к потребителю. Разделив понятия информации и знаний (Смирнов, 1987), в структурную модель картографической коммуникации вносится определенное уточнение. Учитывая предыдущий опыт, мы попытались наметить в коммуникационной парадигме более детальные узлы, фиксируя в них возможность перехода от данных к знаниям и наоборот (Тикунов, 1991a).

Так, человек на основе накопленных данных прежде всего получает информацию о геосистемах и на этой базе вырабатывает специфические географические знания. Далее, обладая определенными знаниями об окружающем мире, оконтуривает тематически, хронологически и пространственно какую-то ее область. Вслед за этим происходят накопление данных о выбранной области и их преобразование в информацию, на основе которой формируется план построения картографической модели. Согласно выработанному плану, отражающему уровень знаний картографической теории и технологии, формируется картографическое произведение. Для его создания привлекаются все необходимые данные, на основе которых вырабатывается информация о приемлемых способах картографического изображения, степени генерализации и т.д., которая позволяет сформировать знание о характере и степени соответствия графического изображения его объективно существующей реальности. Это знание позволяет нам классифицировать карты как объективно или неправильно характеризующие явления. На этапе использования карт человек или машина визуально или другим способом считывает с карты

данные, на основе которых формируется информация об интересующих его географических системах. Осмысливая полученную информацию, формируется новое знание о географическом объекте, получаемое с помощью картографической модели. Таким образом, мы наблюдаем постоянное чередование триады “данные—информация—знание”.

В литературе нередко можно встретить упоминание о невозможности отображения сложных, многокомпонентных географических явлений в плоскости карты. Например, Л. Ратайский (1983, с. 20) пишет, “что формальные возможности карты ограничены изображением лишь трехмерного пространства, и, следовательно, пространства с большим числом размерностей должны “фильтроваться” через евклидово пространство, для того чтобы стать подходящими для отображения на карте. Фильтрация состоит в разложении многомерных пространств на ряд трехмерных, в которых всегда присутствуют обычные координаты X и Y , тогда как координата Z будет каждый раз отображать иную характеристику”. Как заметил У. Праги (1984), применение штриховок, цвета и т.д. не на много увеличивает в этом плане возможности карты. Из всего этого делается вывод о непригодности карты для отображения сложных географических явлений.

Такой взгляд требует уточнения. Несомненно, многомерной математической модели под силу характеристика большого числа размерностей, но не возможна их визуализация, которая традиционно важна для географических исследований. Кроме того, разве возникают какие-либо препятствия в картографировании сложных явлений, например ландшафтов, если они логически или математически охарактеризованы и формализованы. Графические способы изображения ландшафтов могут быть разнообразны и учитывать их типологию и соподчиненность по отношению к ним местностей, урочищ, фаций. Возможна различная характеристика рубежей между типами ландшафтов, подчеркивающая плавность или, наоборот, резкость их пространственной смены.

Отчасти такой подход смыкается со взглядом на доминирующую роль математических моделей и даже на возможность полной замены ими традиционных карт (Геология и математика, 1967, с. 204–213; Ягодина, 1973, с. 3). Например, в книге “Геология и математика” можно прочесть: “...все геологические карты являются иллюстративными и не пригодными для доказательных рассуждений” (с. 211). Гипертрофирование роли математических моделей наносит вред этому прогрессивному направлению исследований. С другой стороны,

появились прямо противоположные крайние взгляды о вредности математизации как таковой. “Обработка эмпирического материала при помощи электронно-вычислительной техники в целом ряде случаев, особенно в исследовании географических процессов, приводит к грубым ошибкам по той простой причине, что эти процессы далеко не всегда могут быть количественно выражены (здесь следует заметить, что применение ЭВМ не требует, чтобы процессы были количественно выражены — В.Т.)... В географии, например, математика часто не только “укорачивает” научные определения, но и сильно искажает их... Часто математическое моделирование в географии сводится к “портретным моделям”, лишенным какого-либо дополнительного содержания, что с не меньшим (а часто большим!) успехом может быть выражено при помощи картографии” (Анучин, 1982, с. 310–311). Интересно, что даже некоторые бывшие творцы количественной революции в географии на Западе разочаровались в ней. Причем некоторые из них стали проповедовать так называемую “радикальную географию”, некоторые аспекты которой освещены в литературе (Лавров, Преображенский, Сдасюк, 1979; и др.).

В качестве объекта для критики чаще всего используются примеры математического описания географических явлений, не имеющих даже сколь-либо глубоко разработанных логических определений. Но ведь совершенно недопустимо математическими формулами описывать то, что еще логически не осмыслено и не представлено в виде, пригодном для математического описания. При конструктивности критики она идет на пользу хотя бы потому, что позволяет отсеять эксперименты, где применение математики было лишь данью моде.

Обе отмеченные взаимоисключающие позиции имеют определенную почву под собой. Прежде всего этому способствовали ряд достигнутых успехов на пути математизации, внедрение этих разработок в практику и другие причины, а с другой стороны, упрощенное описание сложных географических явлений без понимания их сути, применение математических алгоритмов без учета накладываемых ими ограничений, игнорирование традиционных для географии методов и т.д. Иногда требовалось просто невозможное, как, например, решение задачи всесторонней математической имитации сложных географических комплексов с учетом большого числа взаимосвязей между отдельными их компонентами и т.п. Стоит ли в этих случаях применять модели? Нет. Во всем многообразии явление лучше изучать в натуре, чем на модели. Модель ведет к упрощениям

(в разумных рамках), позволяет выявить главные типичные черты, а тем самым дает и новое знание о явлении, и в этом ее сила. Любому моделированию свойственны формалистичность построений и задача использовать ее сильные стороны. Не подмена одних методов другими, а их взаимное дополнение с учетом сильных сторон математических и традиционных методов исследования в географии и прежде всего картографического — наиболее рациональный путь.

Это заставляет шире применять более тонкие, точные приемы создания карт, позволяющие отображать не только наиболее очевидные внешние факторы и закономерности, но и те, проявление которых менее заметно или затушевывается влиянием других факторов и условий. В целом для тематического картографирования, впрочем, как и для любой другой области знаний, характерны два основных момента. Первый — постоянное развитие и совершенствование методов исследования, возникновение новых способов в связи с общим прогрессом науки, развитие и углубление теоретических представлений и т.д. Второй момент связан с различиями в областях применения отдельных методов. Одни применимы только в узких разделах географии, для решения ограниченного числа задач, другие — во всех (или во многих) областях географической науки, третьи являются общими как для географических, так и для многих других дисциплин, четвертые применяются во всех без исключения областях научной деятельности (например, общенаучные методы анализа и синтеза, индукции и дедукции и т.д.).

1.2. МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕМАТИЧЕСКОГО СОДЕРЖАНИЯ КАРТ

Моделирование — одно из наиболее распространенных в науке понятий. Первоначально словом “модель” обозначалась уменьшенная копия, или, как выразился В.И. Даль, “образец в малом виде” (Даль, 1881), а в последующем в широком смысле под моделью стали понимать любой образ (мысленный или условный: изображение, описание, схема, чертеж, график, план, карта и т.п.) какого-либо объекта, процесса или явления (“оригинала” данной модели), используемой в качестве его “заместителя”, “представителя”, а моделирование трактуется как “одна из основных категорий теории познания: на идее моделирования по существу базируется метод научного исследования — как теоретический (при котором используются различного рода знаковые, абстрактные модели), так и экспериментальный (ис-

пользующий предметные модели)” (Советский энциклопедический словарь, 1981).

В картографии обоснование карты как модели появилось сравнительно недавно (Стефанов, 1964; Салищев, 1967) и почти сразу же стало широко применяться. При наличии различных взглядов на карту никто не отвергает тезиса о том, что она является моделью. Карта как модель отражает окружающую объективную реальность в преломлении ее субъективного понимания и восприятия картографом и, в частности, опосредствовано, например при формальном пути моделирования тематического содержания карт с помощью математических моделей, информационная обеспеченность которых и сами алгоритмы определяются картографом или любым другим субъектом — математиком и др. Этот путь моделирования при создании карт можно определить как формально-графический, а путь, часто называемый традиционным картосоставлением, — как логико-графическое моделирование, учитывая и то, что они могут объединяться вместе, например при конструировании сложных математико-картографических моделей, речь о которых пойдет далее. Такое разделение условно и, естественно, при логико-графическом пути можно найти элементы формальных построений и наоборот.

Поэтому мы прежде всего должны обратиться к так называемым “сквозным методам” (Марков, 1978), как бы пронизывающим все науки о Земле, — математическому и картографическому моделированию. Суть математического моделирования заключается в абстрагированном и упрощенном отображении действительности логико-математическими формулами, передающими в концентрированном виде сведения о структуре, взаимосвязях и динамике исследуемых географических явлений. Эти модели очищены от ненужных деталей и лишних подробностей ради ясности характеристик важнейших свойств и закономерностей. Абстрактность математической модели проявляется даже в характеристике конкретных свойств: в любой формуле указываются лишь величины тех или иных показателей, но не раскрывается их содержание.

Однако можно лишь отчасти согласиться с мнением П. Хаггета (1968) о том, что математическое моделирование в географии представляет тот же процесс гомеоморфного отображения действительности, который издавна применяется при составлении карт. При известных аналогиях в процессах математического моделирования и картографирования необходимо также видеть их существенные различия, которые выступают особенно ярко, когда при со-

здании математической модели абстрагируются от пространственных координат.

Важная особенность математических методов, отмеченная Л.В. Канторовичем и А.Б. Горстко (1972), состоит в невозможности их непосредственного использования для изучения действительности. Они применяются лишь в виде моделей, т.е. в определенных формализованных абстракциях. Математические модели способны хорошо отражать структуру, взаимосвязи и динамику наблюдаемых явлений, но надо неустанно следить за их соответствием свойствам моделируемой действительности.

Другое условие повышения достоверности результатов моделирования состоит в совершенствовании научных знаний о географических закономерностях. Опора на более достоверные, точные и полные знания, а также их всесторонний учет гарантируют более высокое качество моделирования. Математические модели могут в свою очередь оказывать серьезное воздействие на теоретические представления. В “основание” моделей можно закладывать еще не доказанные наукой представления; тогда результаты моделирования позволят судить о научной достоверности теоретических предпосылок и гипотез, об обоснованности интуитивных представлений. Это свойство моделей может использоваться для предсказания новых географических закономерностей и прогнозирования развития явлений и процессов. Наконец, для улучшения результатов моделирования очень важна постоянная корректировка моделей посредством учета и контроля промежуточных данных.

Успехи вычислительной математики, статистики и кибернетики, распространение быстродействующих вычислительных машин и улучшение информационного обеспечения географических исследований влекли на путь математизации географии. Но прошло немного лет и появились сомнения. Оказалось, что в ряде случаев использование математики было данью моде, а не насущной необходимостью для решения конкретных задач. Математические модели из других областей знаний — физики, экономики, психологии и др. — часто заимствовались без учета реального соответствия географическим явлениям и тех ограничений, которые накладывают математические методы, и не всегда сопровождались должным анализом результатов вычислений. Отсюда происходила неудача многих попыток, что только охлаждало интерес к проблеме формализации географических явлений.

В картографии этот процесс происходил не в столь резкой форме. Объясняется это отчасти тем, что математизация не является новым

для картографии явлением. Любая карта представляет собой математически строго определенную формализованную модель, построение которой производится по канонам математической картографии. Хотя на карте моделируемая действительность, так же как и в математической модели, передается в условной знаковой форме, но карта обладает свойством, которое отличает ее от математической и любой другой модели, — она визуализирует территориальную конкретность. Именно это свойство обуславливает образную наглядность картографических характеристик территории и объясняет многовековую традицию и разнообразие направлений использования карт в науке и практике. Карта не только абстрактная знаковая, но также аналоговая модель действительности. Доказательством этому служат многообразие приемов передачи характеристики явлений посредством взаимозаменяемых способов картографического изображения, а также однозначность характеристики конкретных территориальных свойств географической действительности.

Несмотря на отличия математической и картографической моделей, именно математика послужила одной из важных причин возникновения и развития таких способов изображения, как картограмма или картодиаграмма, точечный или изолиний. Не являясь редкостью и приемы математической статистики, издавна используемые в картосоставительской практике при проведении отбора объектов картографирования, построении шкал по количественным признакам, обобщении статистических данных и т.п. Новым для картографии является углубляющийся процесс внедрения математических методов в формирование тематики и содержания карт, приводящий к более глубокой перестройке методики их создания (Жуков, Сербенюк, Тикунов, 1980). Все это позволяет говорить о возможности органического комплексирования математических и картографических моделей и нецелесообразности их противопоставления.

Картографическое и математическое моделирование в географии относят не только к числу универсальных, но и наиболее эффективных. При этом системный подход к изучению географической среды потребовал качественного скачка — обобщения различных видов моделирования с целью создания более гибкого системного метода исследования географических комплексов весьма сложных по структуре, с многочисленными взаимосвязями их элементов, динамичных и громоздких по своим масштабам.

Из многочисленных отдельных экспериментов по применению математических методов в тематической картографии в начале

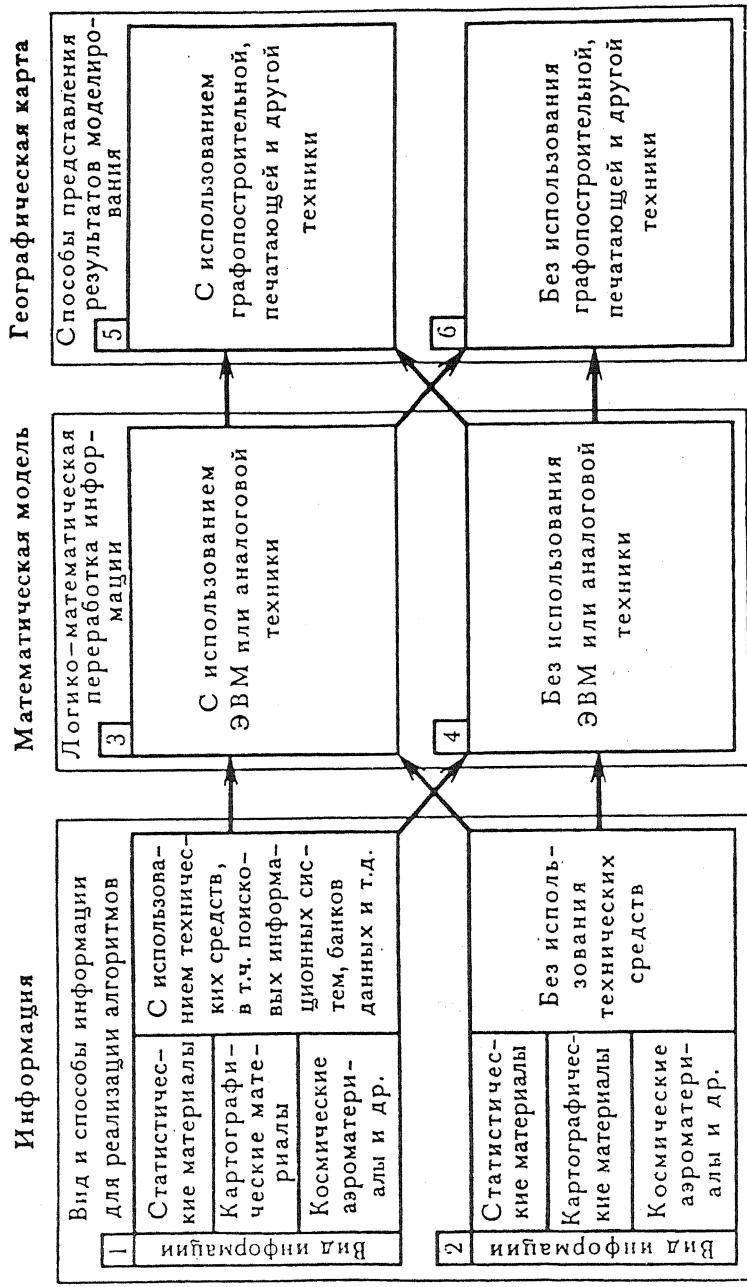


Рис. 1. Схема математико-картографической модели

70-х годов на основе общих гносеологических категорий и научных принципов сформировалось новое направление — математико-картографическое моделирование (Жуков, Сербенюк, Тикунов, 1973, 1980). Под математико-картографическим моделированием (МКМ) понимается органическое комплексирование математических и картографических моделей в системе “создание—использование карт” для целей конструирования или анализа тематического содержания карт.

{ Сочетание математических и картографических моделей может быть самым разнообразным и выражаться как в простых формах, так и в виде сложного многостадийного процесса. Последний строится как бы из элементарных, простейших моделей-звеньев. В связи с этим были определены и классифицированы элементарные математико-картографические модели (Тикунов, 1979). Схематично такая модель выражается следующим образом: данные + математическая модель = результат моделирования (рис. 1). Под словом “данные” могут пониматься сведения, снятые с карты, или результатом моделирования будет тематическое содержание карты. Иными словами, либо на начальном этапе моделирования, либо на конечном или сразу на этих двух этапах должна присутствовать картографическая модель, в противном случае такое моделирование уже нельзя будет назвать математико-картографическим. Математико-картографическая модель как бы синтезирует математический и картографический элементы вместе. В связи с этим отпадает возможность классифицировать элементарные математико-картографические модели по типам применяемых в них карт или по математическому аппарату. Такая классификация особенно заманчива, поскольку и в картографии и в математике уже существует их деление и соответственно классификации.

В нашем случае ни картографическая, ни математическая компоненты по отдельности не определяют лицо МКМ. Образно говоря, математический аппарат подобен мясорубке, которая лишь перекручивает, перерабатывает данные и представляет их в более удобном для анализа виде, вскрывает затушеванные закономерности и т.д., чаще всего фиксируемые на картах. Основываясь на данных положениях, и была разработана классификация элементарных математико-картографических моделей.

А. Модели структуры явлений.

1. Модели структуры пространственных характеристик явлений.
2. Модели структуры содержательных характеристик явлений.

В. Модели взаимосвязей явлений.

1. Модели взаимосвязей пространственных характеристик явлений.
2. Модели взаимосвязей содержательных характеристик явлений.

С. Модели динамики распространения (развития) явлений.

1. Модели динамики пространственного распространения явлений.
2. Модели динамики содержательного развития явлений.

Несмотря на различие моделей пространственных и содержательных характеристик, здесь нет разрыва диалектического единства пространства и содержания, но в одном случае на первый план больше выступает первое свойство, а в другом — второе, хотя в литературе (Берлянт, 1986; и др.) можно найти замечания по поводу целесообразности такого подразделения моделей. Но ведь, как уже было сказано, в этом случае классифицируются не карты, как пишет А.М. Берлянт, а модели, используемые для формирования тематического содержания карт (здесь он вольно или невольно смещает акцент), и поэтому его утверждение, что все они просто обязаны быть пространственными, так как "...всякая карта — это пространственная модель" (с. 27), не имеет отношения к нашей классификации. Наша позиция в данном случае согласуется и со взглядами на "двуединую природу" карты и математико-картографического моделирования, которые разбираются в ряде работ (Тикунов, 1979; Лютый, 1981; Ширяев, 1984; Pravda, 1984; и др.).

Обратимся к конкретным примерам конструирования элементарных моделей. Это позволяет уяснить необходимость подразделения моделей структуры, взаимосвязей и динамики на два подвида. Так, например, создание моделей потенциала поля расселения, равномерности размещения населенных пунктов, аппроксимации статистических поверхностей (модели структуры); модели согласованности контуров объектов между собой, корреляции пространственного варьирования характеристик двух явлений (модели взаимосвязей); модели пространственного распространения эпидемий или диффузии загрязнения, миграций населения (модели динамики) невозможно осуществить без учета в процессе математической формализации пространственного аспекта, без привлечения пространственных координат, фиксирующих положение явлений. Необходимость использования пространственных координат явлений заложена в строение данных алгоритмов.

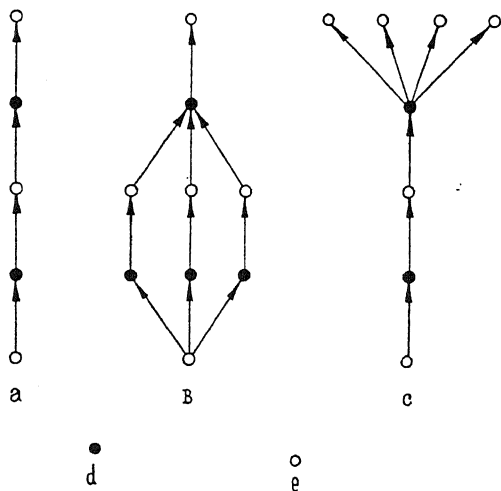
С другой стороны, при многомерной группировке территориальных единиц по комплексу показателей в однородные группы (моде-

ли структуры); при моделировании соответствия распределения занятых в отраслях хозяйства по стране в целом и по единицам ее административного деления (модели взаимосвязей); при прогнозировании роста городов по данным за ряд предыдущих лет (модели динамики) сведения о пространственном положении географических явлений в процессе математического моделирования не учитываются. Ставится задача проанализировать структуру, взаимосвязи или динамику явлений любой территориальной единицы в сравнении с другими единицами, вне зависимости от того, где они расположены. Однако зачастую результаты математического моделирования содержательных характеристик явлений наносятся на карту, что придает им пространственную определенность. Это позволяет анализировать полученные результаты по отношению друг к другу в пространстве и дает им дополнительные преимущества перед другими формами представления результатов моделирования, например таблицами, списками, что также часто встречается в географии. Примеры конструирования элементарных моделей всех пунктов приведенной классификации, а также комплексирования их в сложные модели, необходимые для решения разнообразных географических задач поэтапно, когда применения элементарных моделей уже недостаточно, приведены в гл. V, а также в книге (Тикунов, 1985б).

Используя возможность комбинации отдельных звеньев — элементарных моделей — в процессе поэтапного моделирования, можно решать задачи большой сложности поблочно, расчлняя их на частные задачи, не требующие применения сложных математических расчетов. При этом сложность конструктивного решения каждого элемента моделирования также определяется характером исходной информации, средствами и путями моделирования. Правда, в настоящее время в большинстве случаев процесс моделирования ограничивается формированием единственной первичной ячейки. Такое положение соответствует случаям решения частных задач географического исследования, при изучении относительно простых географических явлений. Если же исследование планируется более разносторонне, то с помощью подобных элементарных моделей реализовать это вряд ли удастся. В этом случае возникает необходимость создания и практического применения комбинационной системы моделей. Такая система, как правило, должна иметь кибернетический характер, а процесс моделирования — реализоваться в интерактивном режиме.

Существенные различия между возможными комбинациями элементарных звеньев и необходимость поиска оптимальных путей их

комплексирования в сложные модели объясняют актуальность разработки их классификации. Наиболее распространенным видом таких моделей могут стать цепочкообразные построения, в которых каждый новый элемент создается на основе результата реализации предыдущего элемента — элементарного звена. Примером другой формы комплексирования моделей могут служить сетевые комбинации, когда на единой информационной базе параллельно реализуется ряд алгоритмов, из которых на завершающей стадии формируется один окончательный картографический результат. Третий вид сложных моделей — древовидные комбинации, при которых на основе одной математической модели создается серия карт одной тематики. Схемы всех трех разновидностей моделей показаны на рис. 2. Естественно предположить возможность комбинирования данных форм моделей



в другие смешанные или найти какие-то новые виды конструирования сложных моделей. Однако приведенные формы моделей, на наш взгляд, вызваны к жизни потребностями практики и типичны для широкого круга задач.

Рис. 2. Варианты конструирования сложных моделей: а — цепочкообразных; б — сетевых; с — древовидных. Элементы моделей: d — математические; e — картографические

Комплексирование сложных моделей во всех указанных формах таково, что каждое ее элементарное звено генетически связано с другими звеньями, а их совокупность образует процесс, единый в технологическом, информационном и многих других отношениях. В этом случае результат каждого этапа моделирования зачастую представляется в виде карты, однако картографическая компонента может полностью выпускаться из отдельных элементарных промежуточных звеньев. На различных этапах сложного процесса моделирования естественно допускается привлечение дополнительной информации.

В этом случае происходят многократные переходы от карт к математическим моделям и обратно, возникают цепочки, сети и деревья преобразований, причем основное внимание сосредоточивается на

оптимальном сочетании и взаимосвязи моделей, на компактности преобразований для обеспечения наиболее эффективного и кратчайшего пути исследования геосистем. С этой точки зрения в картах особенно ценны: пространственное координирование территориальных группировок и комплексов; применение для них абстрагированных классификаций, в том числе выраженных в количественной форме; “агрегация” пространственно-временных данных; возможность получения континуальных и дискретных характеристик с их взаимным переводом; сочетание на картах сведений аналитического и синтетического характера.

По картам легко определить недостатки использованных математических моделей, найти грубые погрешности, вызванные ошибками моделирования, и т.д. Иными словами, карты представляют надежное средство для руководства процессом моделирования, для его контроля и корректировки, а также для оценки достоинств конкретных математических моделей. Наконец, карты, фиксирующие в наглядной форме любые свойства географической действительности, в том числе и зрительно не наблюдаемые (например, магнитные склонения или функциональные типы поселений), особенно удобны для содержательно-географического анализа результатов математического моделирования и для познания территориальных закономерностей. Рассматривая картографические компоненты сложных моделей, что наиболее важно для картографического исследования, можно выделить три их основных типа.

1. Карты для предварительного исследования и постановки задач моделирования. В них характеризуются наиболее важные с точки зрения целей исследования свойства изучаемых объектов, явлений и процессов. С помощью этих карт намечаются пути исследования, уточняется достаточность исходных данных с точки зрения их полноты и детальности. Карты могут и сами быть источником данных, одним из ценнейших свойств которых являются полнота и континуальность характеристик географических явлений.

2. Рабочие карты промежуточных стадий моделирования служат для наглядного образно-пространственного представления результатов предшествующих математических расчетов в целях их всесторонней оценки (как с формально-математических, так и с содержательно-географических позиций). По этим картам определяется успешность проведения предыдущих стадий моделирования и уточняется дальнейший процесс его проведения. Если же с помощью карт обнаруживаются существенные ошибки и погрешности предыдущих стадий моделирования, то производится возврат на одну или несколько ступенек назад для повторения расчетов и построения карт по от-

корректированным данным или отображения результатов использования других математических моделей. Карты промежуточных стадий в большинстве случаев используются лишь создателями моделей; они изготавливаются в ограниченном числе экземпляров без соблюдения особых требований к качеству их оформления и могут использоваться для оперативных целей.

3. Итоговые карты конечных стадий моделирования отражают результаты моделирования и служат для решения первоначально намеченных географических задач как создателями моделей, так и всеми другими заинтересованными работниками географической науки и практики. Для этих карт необходимым условием является их всесторонняя оценка, проверка репрезентативности, достоверности, современности и другие, определение возможностей их практического использования, влияющего, в частности, на методику их оформления, масштаб и др. (Жуков, Сербенюк, Тикуннов, 1976, 1978).

Исследование сложных географических комплексов с системных позиций приводит к необходимости их изучения поэтапно с надлежащим контролем всего процесса моделирования от начала до конца. В этом плане первостепенное значение имеет использование картографических моделей, которые агрегируют пространственно-временные данные, позволяют переходить от дискретных характеристик к континуальным и наоборот, дают возможность представить отдельные комплексы показателей в единой синтетической форме.

В математико-картографическом моделировании картографическая компонента — продолжение и развитие математической модели, обеспечивающей переработку исходных данных соответственно целям и задачам исследования. Картографическая интерпретация математических расчетов приводит их к виду, оптимальному для использования, а также служит инструментом многостороннего анализа результатов математического моделирования. Конкретные примеры реализации математико-картографических моделей рассмотрены в гл. V.

В последние годы все более тесной стала связь между картографическим и аэрокосмическим методами исследований. Многие графические, картометрические, статистические определения и преобразования, разработанные применительно к картам, переносятся на аэро- и космические изображения. Здесь картографическое моделирование тесно смыкается с фотограмметрией и дешифрированием, которые обеспечивают геометрическое преобразование, привязку изображений, распознавание на снимках контуров объектов и др. В этом

случае пишут о картографо-аэрокосмическом моделировании при совместном использовании карт, сканерных, фотографических снимков и т.д.

1.3. РОЛЬ АВТОМАТИЗАЦИИ В ТЕМАТИЧЕСКОЙ КАРТОГРАФИИ

Научно-техническая революция коренным образом изменила взгляды на технические возможности картографии, внесла принципиальные перемены в процессы составления и издания карт. Электронно-вычислительные машины и специальные устройства позволяют автоматизировать процессы картографирования, облегчают использование непрерывно растущего потока тематических данных, влекут коренную перестройку картографического производства, способствуют внедрению карт в народное хозяйство.

Основная тенденция — разработка автоматизированных картографических систем для решения определенных картографических задач, а в конечном итоге стремление к разработке интегральных кибернетических систем “создание—использование карт”, охватывающих все стадии картографирования и применения картографического метода в научных и практических целях. В частности, появилось стремление к автоматизации географических исследований с широким привлечением разработок из области автоматизации в картографии (Симонов, 1975; Dobson, 1983).

Для формирования картографических систем разной сложности и назначения весьма существенно развитие диалектических взглядов на процессы взаимоотношения человека с машиной и применение системного подхода. В частности, современные философские взгляды помогают уяснить принципиальный смысл и значение картографического аспекта в конструировании автоматизированных систем и в применении их на практике, в процессе создания карт. Системный научный подход приводит к углубленному пониманию объектов картографирования как территориальных систем разного иерархического уровня упорядоченности и развития и вместе с тем побуждает обратить особое внимание на функциональную стыковку отдельных технических устройств сообразно элементам картографического процесса.

Для автоматизированного составления сложных карт зачастую необходимо расчленение всех присущих картосоставлению процессов на элементарные операции, которые должны быть согласованы между собой. В настоящее время становится реальным применение ав-

томатизированных систем для создания сложных карт при условии оперативного вмешательства картографа в работу системы для ручной корректировки рисунка на дисплее и др. В сложной ситуации разуму картографа проще непосредственно учесть совместное влияние многих факторов в системных взаимосвязях, чем заранее предусмотреть их и ввести в русло математической формализации. Особое место здесь занимают экспертные системы, речь о которых пойдет в последней главе книги. Контакты картографа с ЭВМ в форме диалога в системе “человек—машина” открывают путь к многократному экспериментированию при изучении геосистем и совершенствованию создаваемых карт: первый вариант может сравниваться с последующим, получаемым в результате изменения классификаций картографических показателей, ситуации, масштаба и т.д.

Наиболее полное и комплексное решение проблем автоматизации картографирования геосистем может осуществляться на базе автоматизированных картографических систем (АКС). Системный научный подход заставляет обратить внимание не только на функциональную стыковку технических средств с элементами процессов картографирования, но и на вопросы взаимодействия картографов с АКС. При конструировании АКС приходится решать комплекс технических и научных задач, в частности учитывать приемы формирования исходных данных, а также их целенаправленной переработки, способы построения картографического изображения и методы последующего использования карт. Первоочередная задача, возникающая в процессе картографирования, состоит в его информационном обеспечении, во многом определяющем научную достоверность, полноту и детальность содержания карт. До сих пор основными источниками информационного обеспечения при автоматизированном составлении тематических карт служат статистические материалы, карты, но особенно широко стали привлекаться данные дистанционного зондирования. Важную проблему представляет оптимизация выбора видов и способов представления данных для реализации моделей. В техническом плане это связано с необходимостью организации информационно-поисковых систем, банков данных, но особенно эффективно в географических информационных системах, речь о которых пойдет далее.

Современные быстродействующие ЭВМ позволили коренным образом изменить информационное обеспечение картографирования. С их помощью можно привлекать и непосредственно использовать большие массивы данных, тогда как при традиционных методах создания карт объемы реализуемых материалов оставались относитель-

но скромными. Вместе с тем применение ЭВМ сильно повысило значение математических методов в картосоставительской практике; они стали ее важной составной частью. Разумеется, этот факт не влечет за собой отрицания традиционных, преимущественно качественных методов, изучения объектов картографирования. Наоборот, количественные методы способствуют дальнейшему развитию и совершенствованию качественных исследований, что отвечает диалектике взаимоотношения категорий количества и качества. При проектировании картографического изображения приходится учитывать особенности его восприятия, направления и способы использования карт.

В последние годы определенное внимание уделяется так называемым “электронным” картам и атласам — телевизионным изображениям, строящимся на экране дисплея, а также картам, вычерченным графопостроителем с трансформацией или упрощением, для удобства машинного воспроизведения, сложившихся форм картографического отображения географических явлений. Иногда речь идет о целесообразности замены традиционных карт, например, файлами данных на машинных носителях, таких, как магнитные ленты, оптические, лазерные диски и др. На наш взгляд, эти формы представления данных разнокачественны и вряд ли их стоит сравнивать, тем более что они используются для разных целей. Что касается преобразования вида карт для их более удобного машинного воспроизведения или считывания автоматическими устройствами, то, наоборот, наиболее полный учет опыта традиционной картографии при автоматизированном создании карт представляется нам наиболее целесообразным.

Переработка данных образует центральное звено в автоматизированной системе “создание—использование карт”. Приведенная на рис. 1 схема наглядно показывает главенствующую роль логико-математической переработки данных в процессе моделирования тематического содержания карт и место технических средств, облегчающих реализацию данного процесса. Так, верхняя половина схемы включает в себя полностью автоматизированный процесс создания или использования карт. Однако в настоящее время чаще всего используется путь, который, следуя схеме, можно обозначить $2 \rightarrow 3 \rightarrow 6$ или $2 \rightarrow 3 \rightarrow 5$.

Средства автоматизации значительно облегчают процессы моделирования геосистем. По мере совершенствования знаний удастся также сделать более полным само математическое описание реальных ситуаций и, следовательно, дать возможность предсказания но-

вых закономерностей. Чтобы глубже проникнуть в существо изучаемых явлений, необходимо постоянно следить за соответствием структуры модели и моделируемого явления с учетом получения новых знаний о нем.

Применение типовых методик, подготовка стандартных вычислительных алгоритмов и программ для формирования тематического содержания разнообразных карт, т.е. перевод моделирования на рельсы его использования для нужд практики, когда экспериментирование ограничено, когда важна экономическая эффективность работ и т.д., определяют необходимость автоматизации процессов моделирования. С другой стороны, стандартизация, при которой целесообразность автоматизации проявляется особенно ярко, не должна смазывать специфики географических явлений. Необходимость адекватного описания данных явлений определяет обязанность учета их специфики в процессе моделирования тематического содержания соответствующих карт.

Относительно просто автоматизировать создание аналитических карт, особенно в геоинформационных технологиях. В этом случае этап логико-математической переработки данных может сводиться лишь к простой перекодировке или нормировке количественных и качественных показателей с целью их отображения на карте; к их элементарной генерализации; к определению интервалов шкал для картограмм, значков, изолиний и т.д. Автоматизация данных процедур осуществляется давно и не представляет большой сложности. Другое дело, когда необходимо автоматизировать операции, связанные со сложными логическими построениями и обобщениями, как, например, при построении синтетических карт. Необходимость выявления трудоемких, но поддающихся алгоритмизации этапов процесса моделирования тематического содержания синтетических карт — одна из насущных задач тематической картографии. В этом отношении прежде всего целесообразно выделение формальных и эвристических компонент в процессе многомерных классификаций. Далее требуется определение стандартных элементов при оценочных, типологических построениях, районировании и их формализации с учетом особенностей каждой разновидности классификаций.

Концепция полной автоматизации создания карт, возникшая на заре развития кибернетики, оказалась преждевременной и не выдержала испытания временем. Это связано с теми непреодолимыми трудностями, которые возникают при математической формализации многогранных процессов картосоставления, но которые успешно осуществляются специалистами на основе теории, опыта и профессио-

нальной интуиции. В связи с этим большое значение приобретает интерактивное автоматизированное картографирование в так называемом диалоге “человек—машина”, который может сопутствовать всем трем этапам автоматизации в картографии, связанным с подготовкой исходных данных, их логико-математической переработкой и воспроизведением результатов в картографической форме.

В настоящее время диалог человека с машиной наиболее эффективно позволяют вести терминалы, оснащенные алфавитно-цифровыми и графическими дисплеями. Картограф может корректировать работу АКС и выполнять вручную не формализованные операции. Графический дисплей также дает возможность визуально изучать процессы моделирования и шире использовать многократное экспериментирование. Картограф получает возможность к многостадийному процессу принятия решений, что соответствует системным принципам моделирования, генерализации, согласования взаимосвязанных наборов карт, выбору оптимального оформления карт и др. Автоматизация воспроизведения карт с целым рядом способов картографического изображения приобретает утилитарный характер и реализуется с использованием уже хорошо разработанных пакетов программ машинной графики.

Особенно бурно в последние годы стала развиваться геоинформатика, речь о которой пойдет в последней главе книги. Междисциплинарный характер геоинформатики, нечеткость разграничения ее разделов, неопределенность “зоны действия” и многоплановость самого понятия “геоинформатики” существенно затрудняют всякое ее аналитическое рассмотрение. С этой точки зрения необходимо установить разумный баланс между достаточно удаленными дисциплинами, областями знаний и отдельными аспектами геоинформационной методологии, включая организацию географического знания и географические информационные потоки, автоматизированные технологии обработки данных, аппаратно-программное обеспечение ГИС, картографическое моделирование как сквозную линию геотехнологической цепочки с ее специфическими условиями и возможностями.

Два встречных процесса — оснащение географических информационных систем (ГИС) средствами автоматизированной картографии, с одной стороны, и формирование в структуре АКС обширных картографических банков данных — с другой, — обуславливают структурно-функциональную схожесть АКС и ГИС, что служит хорошей предпосылкой к их объединению (вместе с ведомственными информационными системами негеографической специализации) в

более общие информационно-вычислительные структуры и сети. Система управления “банком моделей” — реальный шаг к созданию экспертных географических систем, ГИС с развитыми “знаниевыми”, интеллектуальными возможностями.

Геоинформационная тематика несколько переориентировала работы в области автоматизации в картографии. Однако важность автоматизации для картографии не оспаривается, но можно найти и преувеличение ее роли, вплоть до того, что автоматизация является основой развития теории картографии. Средства автоматизации способны поднять картографию на качественно новый уровень реализации исследований, но нельзя забывать, что они являются лишь средством и не могут служить теоретической базой для развития науки. Прогресс в картографии может быть связан с разработкой собственной теории, методологии и методики при опоре на технические средства. Поэтому вряд ли можно согласиться со всеобъемлющими возможностями автоматизации, в том числе в развитии теоретической основы. Можно сказать, что средства автоматизации очень важны, но развитию теории способствуют лишь опосредствовано (Смирнов, 1987; Тикунов, 1987).

Глава II

КОНСТРУИРОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ СТРУКТУРЫ ЯВЛЕНИЙ

II.1. МОДЕЛИ СТРУКТУРЫ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЯВЛЕНИЙ

II.1.1. Модели пространственного размещения точечных объектов

Моделирование структуры пространственных характеристик явлений привлекло к себе внимание на самых первых этапах математизации географии. Отчасти этим и объясняется большое количество исследований, посвященных изучению отдельных структурных элементов с помощью простейших математических моделей и географических карт, используемых для пространственного координирования явлений на начальном этапе исследований или для фиксации результатов.

Наиболее многочисленны примеры конструирования моделей, отображающих отдельные стороны размещения точечных географических объектов. Такие исследования характеристик топологии точечных объектов, в качестве которых исследуются населенные пункты, магазины, кинотеатры, школы, промышленные предприятия и т.д., столь разнообразны, что мы ограничимся лишь кратким их перечислением.

Прежде всего следует назвать исследования точечных сетей как правильных, "идеальных" решеток Кристаллера, различные подходы к анализу которых обобщены в книгах П. Хаггета (1968, 1979) и статье Б.Дж. Гарнера (1971). В отечественной литературе вопросам изучения точечных географических объектов по картам, и в первую очередь исследованию морфологии схем расселения, также уделено большое внимание (Бочаров, 1971; Топчиев, 1973; и др.). Например, только для целей исследования равномерности размещения точечных объектов можно назвать целый ряд примеров, использующих расчет энтропии как меры регулярности сетей или различные другие простейшие характеристики (Лухманов, 1968; Евтеев, 1970; Боровко, 1971; Маергойз, 1981; Тикуннов, 1979; Boots, 1980; Buursink, 1981; и др.).

Многие из указанных или близких к ним по смыслу моделей предполагают создание тематических карт, отображающих результаты расчетов концентрации явлений (Измайлова, 1968), степени равномерности расселения (Евтеев, 1970; Тікунов, 1979) и др. То есть в этом случае географические карты используются не только как источник данных, но и являются результирующим элементом моделей. В качестве примера рассмотрим лишь одну из методик создания таких производных карт, а именно карт равномерности размещения населенных пунктов. Вычисление и картографирование показателей размещения сети поселений издавна используются в географии населения для характеристики типов расселения, при планировании размещения учреждений обслуживания, промышленных предприятий и т.д. Непосредственно суть предлагаемой методики, которая разрабатывалась автором с учетом возможностей использования картографической техники, описана в работе (Тікунов, 1979).

По адресной карте (карте людности поселений, топографической карте и др.) с помощью цифрователя измеряются прямоугольные координаты X и Y всех пунсонов, фиксирующих положение населенных пунктов. При этом заранее следует определить, не превышают ли погрешности в положении точек допустимую точность считывания координат, что может быть связано с выбором картографической проекции, назначением карты и другими причинами. Кроме того, следует знать, не генерализована ли сеть пунктов на карте данного масштаба.

В качестве эталонной, абсолютно равномерной сети точек будем считать гексагональное их расположение по территории. Для гексагональной решетки характерно то, что если взять любой ее узел, то расстояния между данным узлом и окружающими его шестью ближайшими точками будут равны. Кроме того, все шесть расстояний между соседними точками окружения также будут равны им по длине, т.е. если все эти двенадцать расстояний окажутся равными, то такая сеть считается абсолютно равномерной. В качестве показателя равномерности можно использовать коэффициенты вариации:

$$V = \frac{100 \sigma}{\bar{d}}, \quad (2.1)$$

$$\bar{d} = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} d_i, \quad \sigma = \sqrt{\frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} (d_i - \bar{d})^2},$$

где d_i — расстояния между шестью окружающими центральный пункт точками, а также между данными точками и центральной.

Величина V для любого узла гексагональной решетки будет равна нулю. Иными словами, нуль — показатель полной равномерности сети. Степень увеличения коэффициента вариации может быть принята за величину неоднородности размещения точек. В пределе величина V может достигать значения 100.

Взяв первую точку, несложно, по измеренным координатам X и Y , вычислить расстояния между ней и другими точками и выбрать шесть наикратчайших. Далее по алгоритму, широко известному под названием “задачи коммивояжера”, выбирается кратчайший замкнутый путь при “объезде” всех этих шести точек и тем самым вычисляются шесть других расстояний. Решение этой задачи на ЭВМ различными путями рассмотрено во многих работах, не полный обзор которых дает П. Хаггет (1968, с. 86–87; 1971, с. 293–294).

Таким образом, выбранные двенадцать расстояний используются для расчета показателя равномерности в окружении первой точки по формуле (2.1). Затем аналогичные расчеты производятся для второй точки и т.д. В результате для всех населенных пунктов вычисляются величины равномерности размещения пунктов в ближайшем их окружении. Остается лишь нанести данные значения на карту и в виде изолиний отобразить картину варьирования вычисленных показателей по территории.

Для того чтобы не искажать величин коэффициентов однородности на краях исследуемого региона, в производимые вычисления следует включать и пункты сопредельных территорий. Изолинии равномерности расселения для небольшого реального фрагмента размещения населенных пунктов, показанных пунсонами, приведены на рис. 3, А.

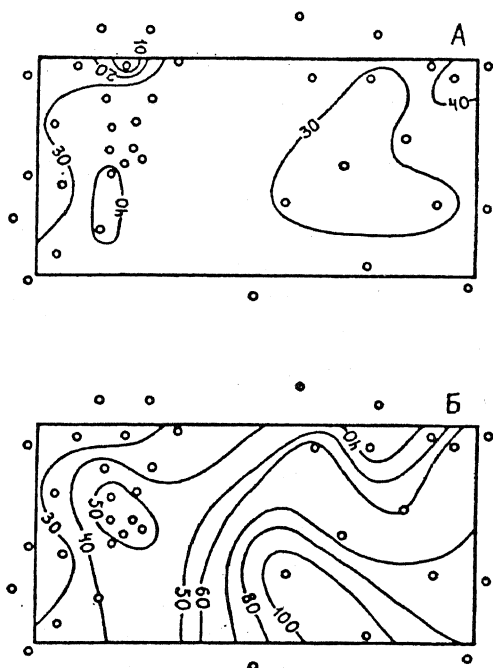


Рис. 3. Равномерность сети расселения: А — расчет равномерности произведен по формуле (2.1); Б — расчет с заменой d на d_m в формуле (2.1)

Также заметим, что ячейки гексагональной сети, соблюдая принцип подобия, могут быть увеличены или уменьшены, но величина коэффициента вариации все равно будет равна нулю и свидетельствовать об абсолютной равномерности. Однако бывает целесообразно в одном показателе учитывать не только степень равномерности, но и величину расстояний между пунктами, например при планировании размещения учреждений обслуживания. Для этих целей подсчитывается среднее расстояние (d_m) между всеми пунктами исследуемой территории, и эта величина заменяет значение \bar{d} в формуле (2.1). После такой модификации происходит существенная трансформация картины равномерности (рис. 3, Б).

II.1.2. “Гравитационные” модели структуры явлений

К задаче исследования территориальных характеристик структур относится также анализ и картографирование их ядер, определение границ распространения, внутренних зон и т.п. Таковы, например, модели потенциалов поля расселения (Космачев, 1968; Евтеев, 1969; Игнатъева, 1970; Гуджабидзе, 1972; Липец, Чижов, 1972; Матлин, Соловьев, 1972; Трус, 1972; Евтеев, Свентэк, Тикунов, 1973, 1974; Жупанский, Стасюк, 1975; Канцебовская, Рунова, 1975; Полян, 1976; Полян, Трейвиш, 1978; Тикунов, 1980в; Peseux, 1974; Richardson, 1974; и др.). Модели потенциала поля расселения во всем многообразии различных методик их создания получили широкое распространение, о чем свидетельствует далеко не полный перечень посвященных им работ.

Понятие потенциала поля расселения (в зарубежной терминологии демографического потенциала) в качестве аналогии с формулой тяготения Ньютона пришло в географию из физики. Формула Ньютона выражает взаимодействие двух тел через произведение их масс, деленное на квадрат расстояния между ними. На основании концепции Стюарта, по аналогии с формулой Ньютона, сила взаимодействия двух населенных пунктов (которая может выражаться в обмене информацией, пассажиропотоками и др.) может быть записана

$$I = \frac{P_1 P_2}{D_{1-2}^2}, \quad (2.2)$$

где P_1 и P_2 — людности населенных пунктов и D_{1-2} — расстояние между ними. Отсюда степень взаимодействия (V_i) любой точ-

ки территории (j) со всеми населенными пунктами (i) выразится следующим образом:

$${}_jV_i = \sum_{i=1}^n \frac{P_i}{D_{ij}}. \quad (2.3)$$

Вычисляя потенциал поля расселения не для всех точек территории, а лишь для населенных пунктов, географы обычно пользуются формулой

$${}_jV_i = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{P_i}{D_{ij}} + P_j. \quad (2.4)$$

После такой, несколько вольной, трансформации аналогия населенных пунктов с физическими величинами, строго говоря, перестает существовать, однако это не мешает географам получать интересные решения и выводы. Это отчасти объясняется тем, что расчеты потенциала поля расселения сугубо картографичны: они не имеют статистических аналогов (таблиц, списков), а предположение о том, что сила взаимодействия населенных пунктов прямо пропорциональна их величине и обратно пропорциональна расстоянию между ними, не противоречит интуитивным представлениям и отчасти подтверждено эмпирически. Причем показатель степени в формуле (2.2) у различных исследователей варьировал от 0,5 до 3,5 и в целом ряде случаев был близок к 2 (Саушкин, 1971; и др.).

Исследование методики расчета потенциала по формуле (2.4) с использованием всех населенных пунктов изучаемой территории стало широко распространенным, традиционным. В то же время существуют или могут быть предложены другие модификации расчета потенциала поля расселения, полезные для целей прикладного анализа. С целью возможности сравнения получаемых результатов проиллюстрируем различные методики расчетов на примере одной территории, в качестве которой был выбран Алтайский край (Тикун, 1980в).

Расчет потенциала поля расселения по традиционной методике с использованием всех населенных пунктов края (около 3000) производился на основе "воздушных" расстояний между пунктами. "Воздушные" расстояния вычисляются по прямоугольным координатам пунктов, которые в нашем случае измерялись цифрователем с точностью до 0,1 мм по адресной карте населенных пунктов Алтайского края. Точность считывания координат в 0,1 мм по карте миллионного масштаба, что соответствует 100 м на местности, вполне достаточна для расчета потенциалов. Карта потенциала

поля расселения, составленная по данной методике, представлена на рис. 4.

В некоторых работах излагается методика расчета потенциала не по населенным пунктам, а по графствам, районам или другим административным единицам. В этих случаях население всех расчетных единиц условно относилось, как правило, к их административному центру. Чтобы проверить, сколь сильно это допущение влияет на общую картину пространственного варьирования потенциала, была рассчитана вторая карта (рис. 5) на основе всех сельсоветов и городских поселений Алтайского края (714 расчетных единиц). При сравнении рис. 4 и 5 видно, что данная методика приводит к тому, что изображение поверхности потенциала становится более схематичным, хотя основные формы демографического “рельефа” сохраняются похожими.

Использование для расчета потенциала формулы (2.4) влечет за собой условное допущение — формальность суммирования людности пункта, для которого вычисляется потенциал. Для крупных населенных пунктов это приводит к резкому увеличению значения потенциала лишь за счет собственного населения. В связи с этим были предложения рассчитывать потенциалы для населенных пунктов без учета собственной людности пунктов. Составленная по такой методике карта по конфигурации изолиний и по величине значений потенциала оказалась очень близкой к первой карте (см. рис. 4).

При большом числе населенных пунктов собственное население добавляет в значение потенциала относительно небольшую долю по сравнению с его наведенной (индуцированной) от других населенных пунктов частью, естественно, исключая очень крупные пункты. Эти крупные пункты как бы “проваливаются” вниз на фоне общей поверхности потенциала, и чем крупнее населенный пункт, тем этот “провал” становится глубже. Возникает это из-за того, что крупные населенные пункты создают вокруг себя высокий наведенный потенциал.

При расчете потенциала очень важен вопрос выбора территориальных рамок, которые не должны определяться территорией картографирования потенциала поля расселения. С нашей точки зрения, этот выбор следует обуславливать целью, для которой рассчитывается и картографируется потенциал. Так, например, если карта составляется для оценки сети школ с точки зрения удобства их размещения по отношению к населению, то значения потенциала целесообразно рассчитывать в пределах административных районов — основных территориальных единиц организации школьного обслуживания.

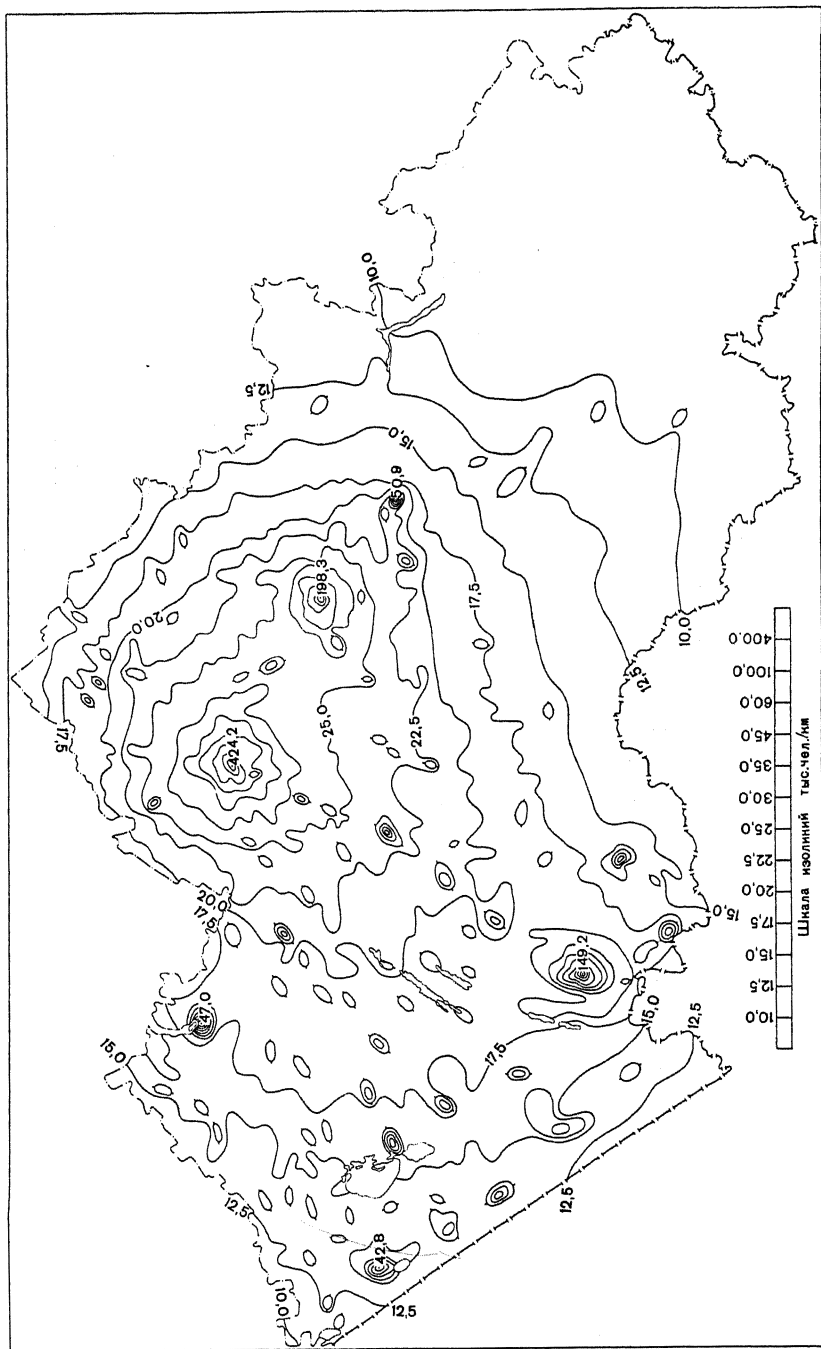


Рис. 4. Потенциал поля расселения, рассчитанный по традиционной методике

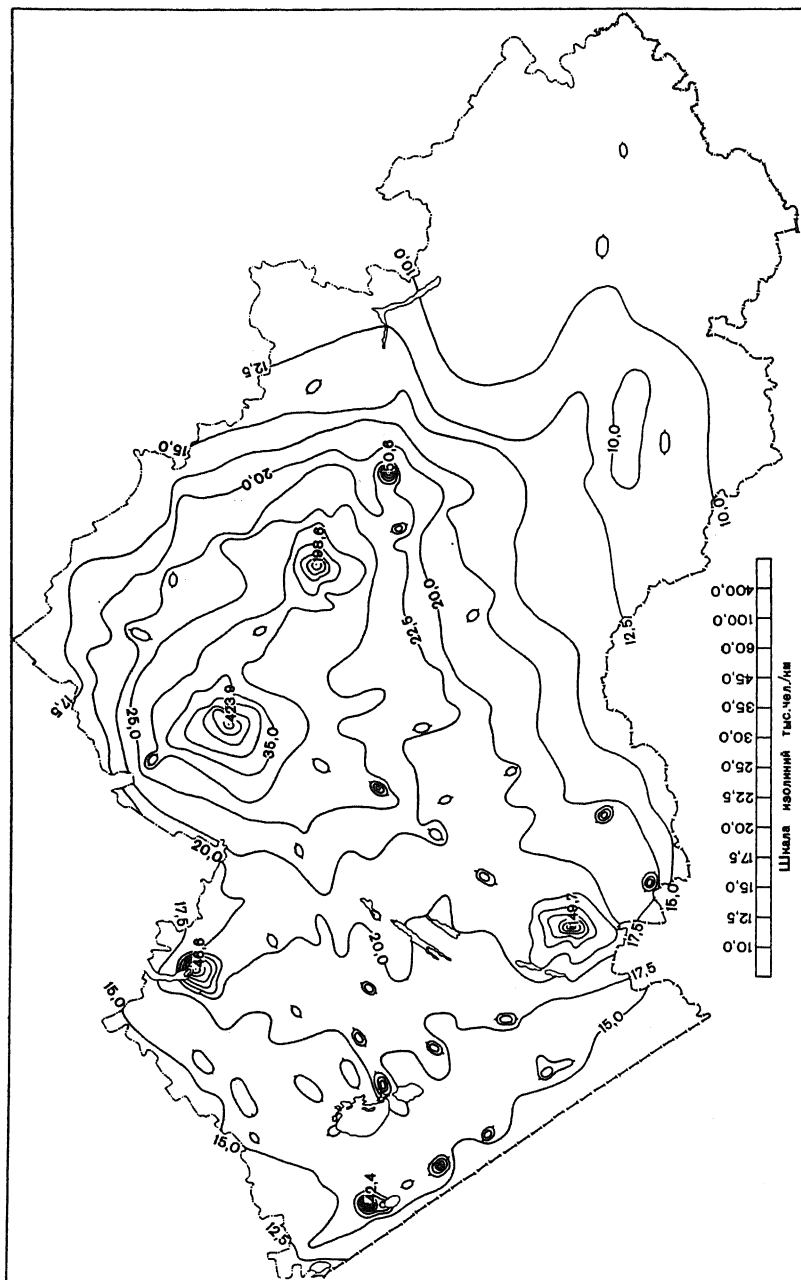


Рис. 5. Потенциал поля расселения, рассчитанный на основе сокращенной статистики

Если же мы имеем дело с сетью техникумов, то расчет потенциалов следовало бы вести в пределах области, а для сети вузов — в пределах крупных частей или в целом страны. В то же время район картографирования потенциала может быть отличным от расчетного, например для всех трех случаев — область.

Карты потенциала поля расселения, рассчитанные с учетом влияния всей страны, обладают ценным свойством: они сопоставимы для разных районов, поскольку во всех случаях общая численность населения, включенная в расчет, одинакова. В противном случае каждая карта имеет свою систему отсчета потенциала. Чтобы проиллюстрировать это положение, была составлена карта, в расчет потенциала для которой включалась вся территория бывшего Советского Союза. В качестве единиц картографирования для Алтайского края брались все населенные пункты, для областей, прилегающих к нему, — районы, для всей остальной части страны — области и равноценные с ними административные подразделения (рис. 6).

Сравнение полученной и наиболее близкой к ней карты (см. рис. 4) показывает, что конфигурация изолиний и их численные характеристики сильно различаются. Для последней карты характерна незамкнутая, открытая форма изолиний по отношению к соседним областям, показывающая как бы возможность продолжения их на сопредельные регионы. Значение же потенциалов на ней на порядок выше, чем на первой карте, что говорит о сильном демографическом влиянии на Алтай всей остальной части страны.

Это влияние можно отобразить в виде наведенного (индуцированного) потенциала всей территории страны, без учета собственного населения Алтайского края. Формально этого можно достигнуть, если рассчитывать потенциал так же, как это делалось для карты, изображенной на рис. 6, но людность всех населенных пунктов Алтая приравнять нулю, т.е. мы будем получать для всех населенных пунктов края лишь наведенные из-за его пределов значения потенциала (рис. 7). Такого же результата можно достигнуть, если из статистической поверхности потенциала карты (см. рис. 6) вычесть поверхность, изображенную на рис. 4. Как и ожидалось, эта остаточная поверхность оказалась наиболее приподнятой в северной части края, где очень сильно влияние Кемеровской и Новосибирской областей.

Расчеты наведенных потенциалов удобнее производить не в точках конкретной сети пунктов, а в вершинах какой-либо правильной геометрической сети, например сети квадратов, нанесенных на карту. Доказывается, что такой подход более правилен и с методической

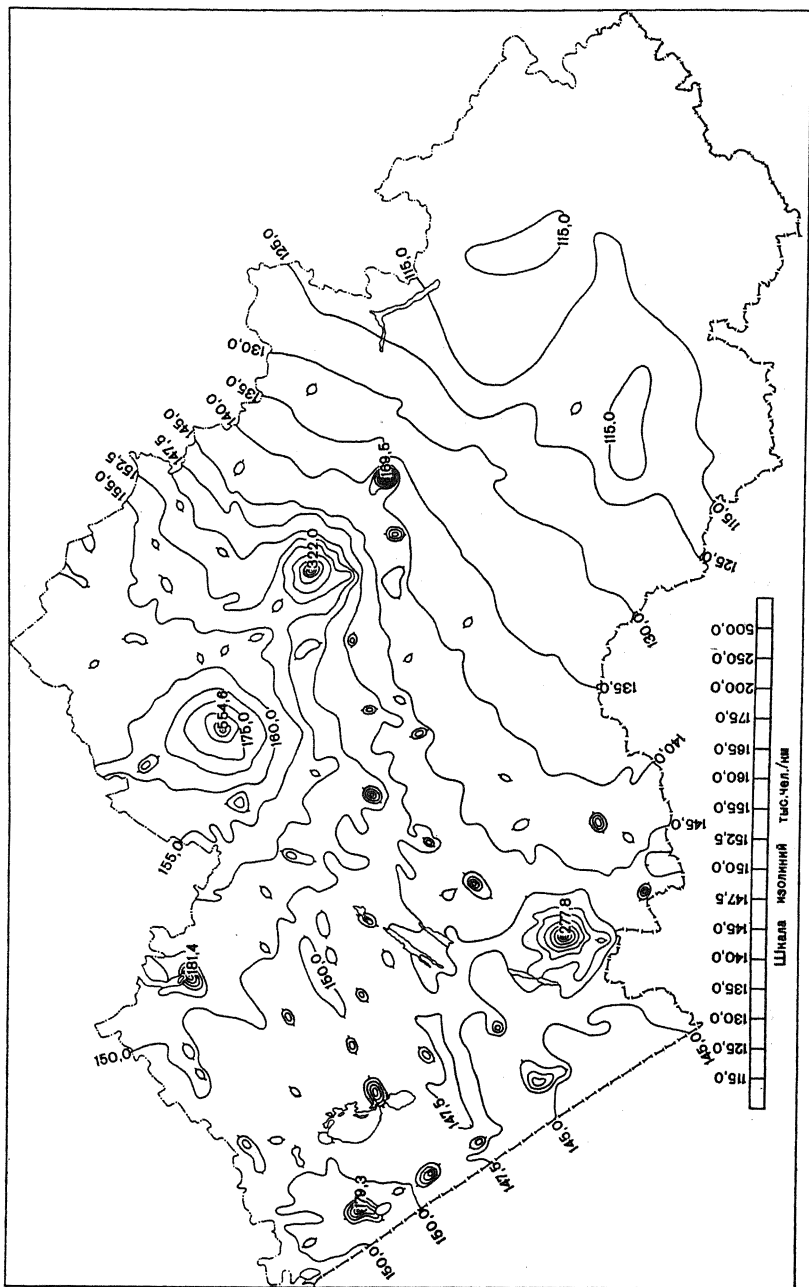


Рис. 6. Потенциал поля расселения, рассчитанный с учетом демографического влияния территории СССР

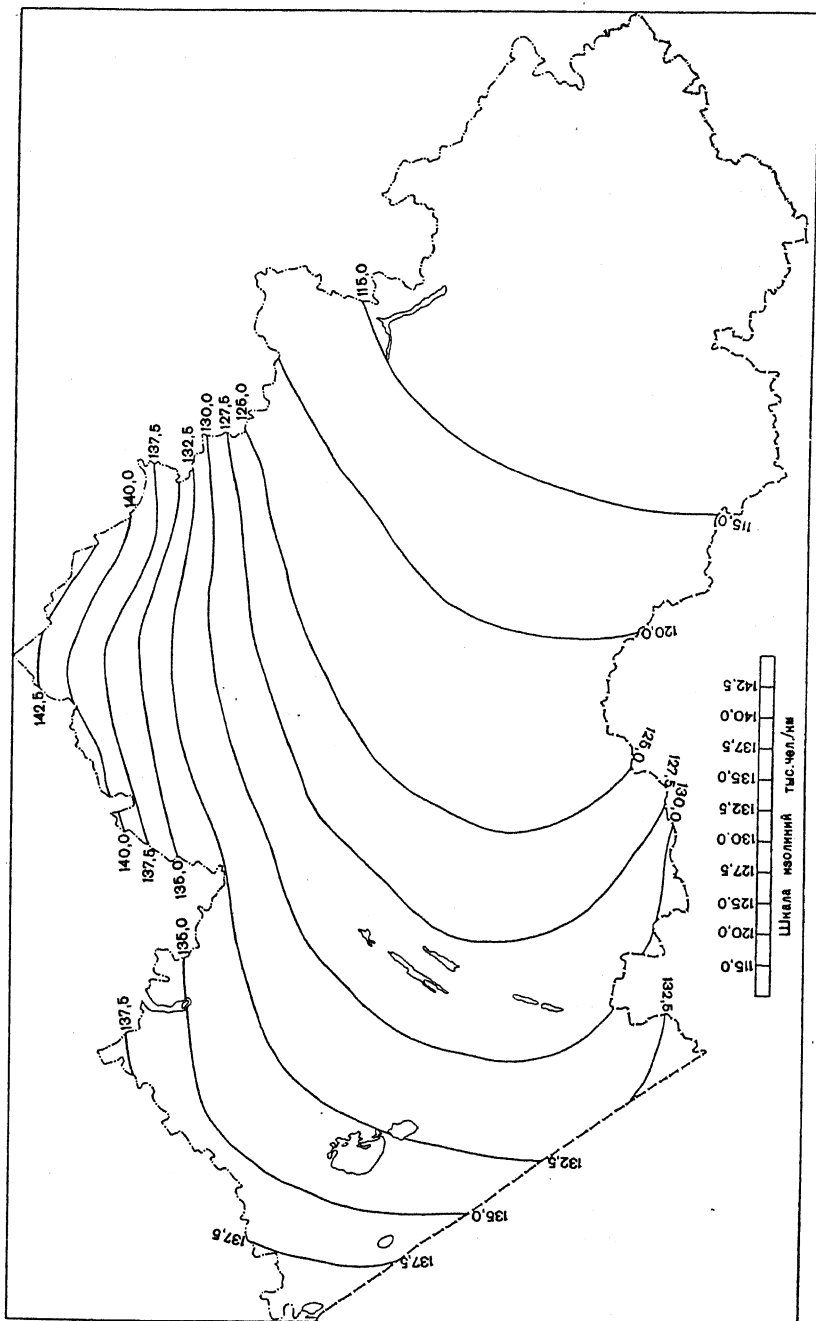


Рис. 7. Индуцированный потенциал поля расселения

точки зрения, имея в виду возможность расчета, в том числе обычного, не индуцированного потенциала для любой точки территории (Фролов, 1975; Червяков, 1978).

При расчете карт потенциала поля расселения с использованием правильных геометрических сетей может оказаться, что узел сети расположится в непосредственной близости или даже точно на месте населенного пункта. В этом случае, когда расстояние между узлом сети и населенным пунктом равно нулю, вычисление по формуле (2.3), используемой для таких расчетов, приводит к неопределенности. Кстати, аналогичная проблема существует и при расчете потенциалов по населенным пунктам, решаемая за счет малооправданного суммирования к значению потенциала людности пункта, для которого проводится его вычисление. Ю.С. Фроловым (1975) предложена методика расчета потенциала, устраняющая формальность отнесения всей численности населения пунктов к их центрам путем аппроксимации населенных пунктов не точками, а равновеликими им кругами с равномерно распределенной плотностью населения.

Расчет потенциала по регулярной решетке* на основе всей совокупности населенных пунктов Алтайского края приводит к результату, близкому к первой карте (см. рис. 4). Если использовать сокращенную статистику (по сельсоветам), то полученная карта оказывается соответственно близкой по конфигурации изолиний ко второй карте (см. рис. 5), но отличия все же более существенны (рис. 8). В случае расчетов по регулярным решеткам крупные населенные пункты не выделяются столь рельефно на общем фоне поверхности потенциала, как при традиционной методике. При расчете наведенных потенциалов (см. рис. 7), как по регулярной решетке, так и на основе реальной сети пунктов, различия в соответствующих картах могут возникнуть лишь за счет различной интерполяции изолиний.

Интересно то, что предложенная методика расчета индуцированного потенциала открывает возможности выделения зон демографического влияния территорий. Можно посчитать индуцированный потенциал для Алтайского края на основе данных о размещении населения любой из прилегающих к Алтаю областей, аналогично тому, как это делалось относительно всей территории бывшего СССР (см. рис. 7). Расчеты для территории края производились нами относительно Тувинской АССР, Хакасской АО, Кемеровской, Новосибирской, Восточно-Казахстанской, Павлодарской и Семипалатин-

* В качестве регулярной решетки нами использовалась сеть квадратов со стороной в 1 см, что соответствует на местности 10 км и определяет зону хозяйственной освоенности и пешеходной доступности территорий вокруг населенных пунктов.

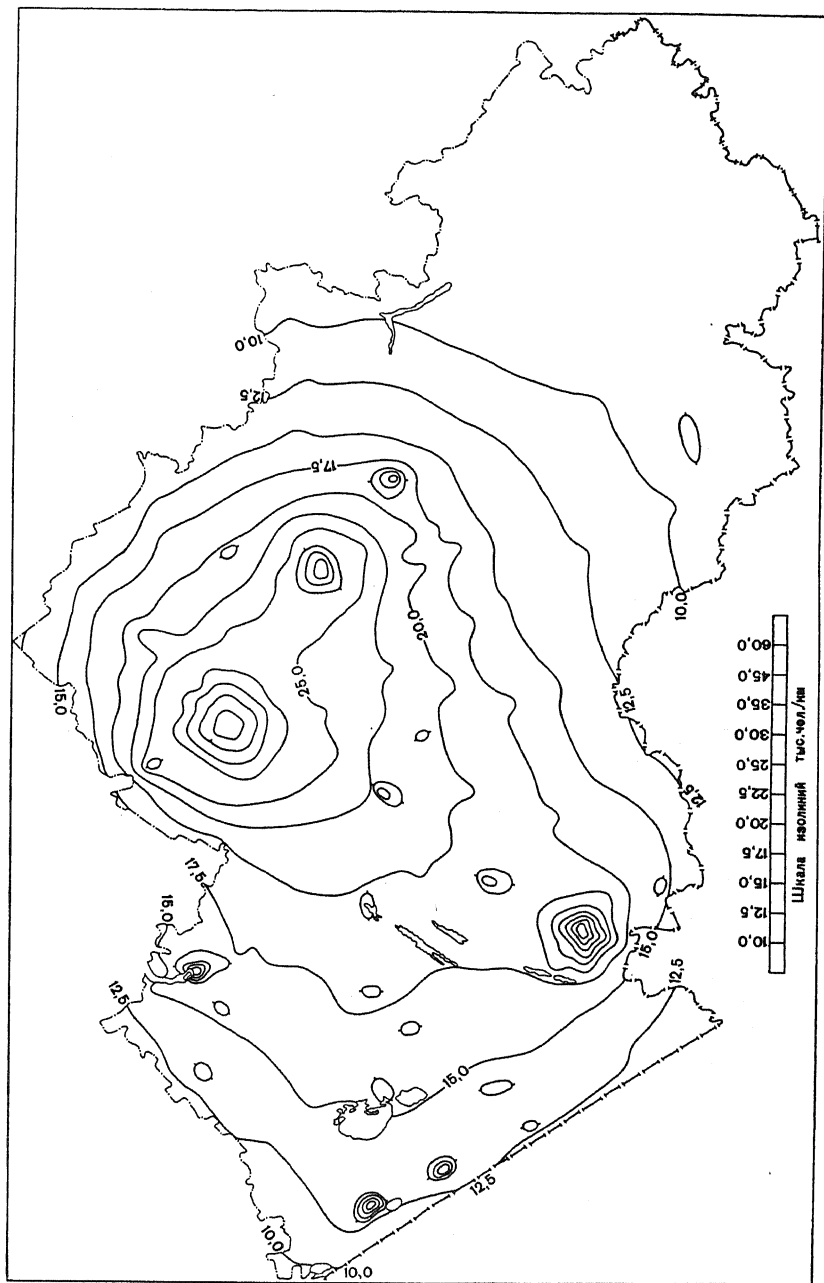


Рис. 8. Потенциал поля расселения, рассчитанный по регулярной решетке

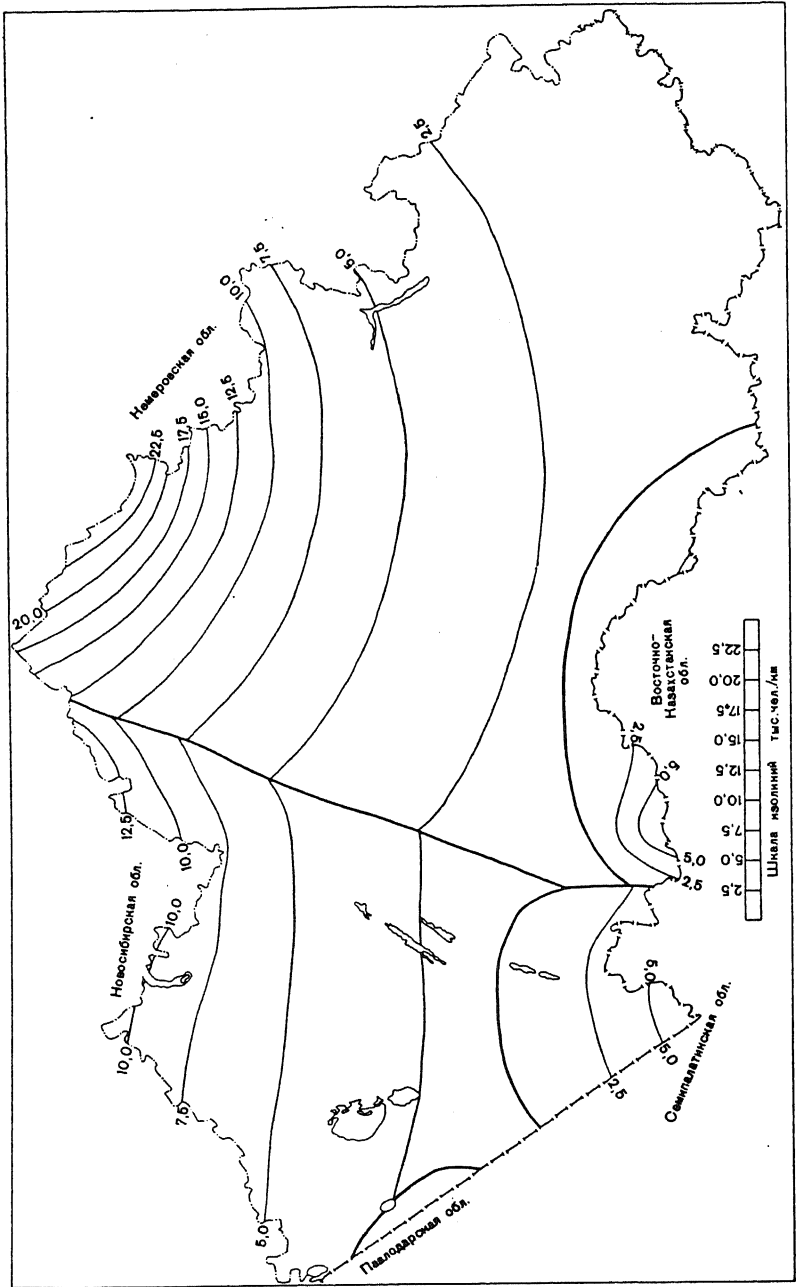


Рис. 9. Зоны демографического влияния соседних областей

ской областей. Демографическое влияние Монголии и Китая было сравнительно мало и в расчетах не учитывалось.

В результате получается семь карт наведенного потенциала. Однако их все можно свести воедино, выделив зоны демографического влияния всех соседних областей, АССР и АО по преобладанию величины индуцированного потенциала в узлах решетки. Получается так, что Тувинская АССР и Хакасская АО ни в одном узле решетки не создают наведенного потенциала, который бы превышал наведенный потенциал от других областей. Поэтому территория Алтайского края делится только лишь на зоны демографического влияния пяти соседних областей.

Внутри выделенных зон влияния можно отобразить конкретные значения индуцированного потенциала от соответствующих областей (рис. 9). Судя по размерам площадей, находящихся в зоне влияния той или иной области, можно сказать, что главенствующую роль среди них играют Кемеровская и Новосибирская области. Алтайский край вместе с этими областями входит в крупные территориально-производственные комплексы. Это наиболее развитые в экономическом отношении области и т.д. Вследствие этого связи, в том числе и демографические, Алтайского края наиболее сильны именно с Кемеровской и Новосибирской областями.

В некоторых случаях потенциалу поля расселения можно придать вполне определенный прикладной характер за счет конкретизации понятий (например, понятия “расстояние”), модификации формул и учета некоторых особенностей целевой установки. Например, карты потенциала поля расселения с успехом могут применяться для оценки размещения объектов обслуживания и других целей. В качестве примера воспользуемся фрагментом, приведенном на рис. 3. Численность населения для соответствующих пунктов указана на рис. 10, А. Чтобы проследить, как меняются значения потенциала при разных вариантах расчета, приведем результаты расчета по формуле (2.4), сделанные на основе данных по 37 пунктам (рис. 10, Б), а также без учета влияния пунктов, расположенных за пределами исследуемого квадрата (рис. 10, В). На рис. 10, Г показан потенциал, рассчитанный с учетом времени на преодоление реальных расстояний между пунктами.

Население пункта, где есть какое-либо учреждение обслуживания, не нуждается в аналогичных услугах других пунктов. Это необходимо учесть при расчете потенциала, тем, что в процессе вычислений по формуле (2.4) отношение P_i/D_{ij} от пунктов, обеспеченных данным видом услуг, приравнивается нулю. Карты потенциала, составленные с учетом данной модификации, могут приме-

няться для анализа уже существующей сети учреждений по отношению к населению. В то же время они указывают места, которые в первую очередь следует анализировать при планировании развития сети учреждений обслуживания, как плохо обеспеченные данным видом услуг (см. рис. 10, Д в сравнении с 10, Б).

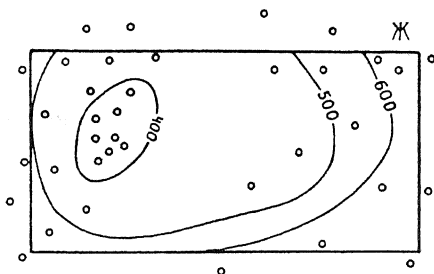
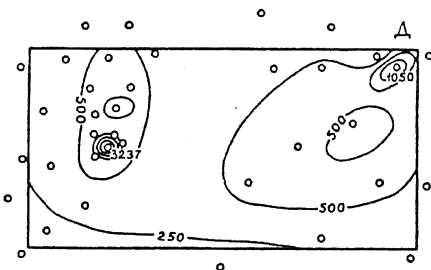
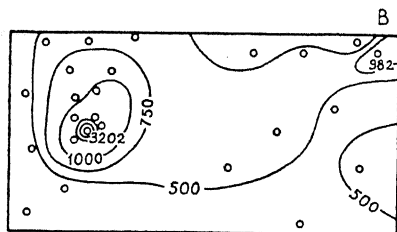
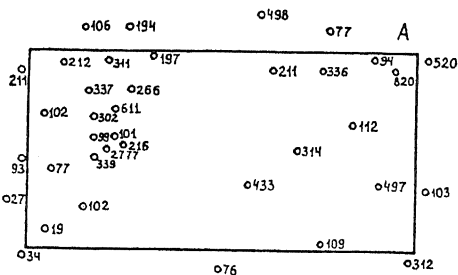
Если из расчетов вообще исключить пункты, имеющие данные учреждения, то еще отчетливее выявляются места, наиболее доступные для населения, нуждающегося в соответствующем виде обслуживания. В этом случае потенциал как интегральную характеристику близости населения для любого пункта j уместно рассчитывать по формуле

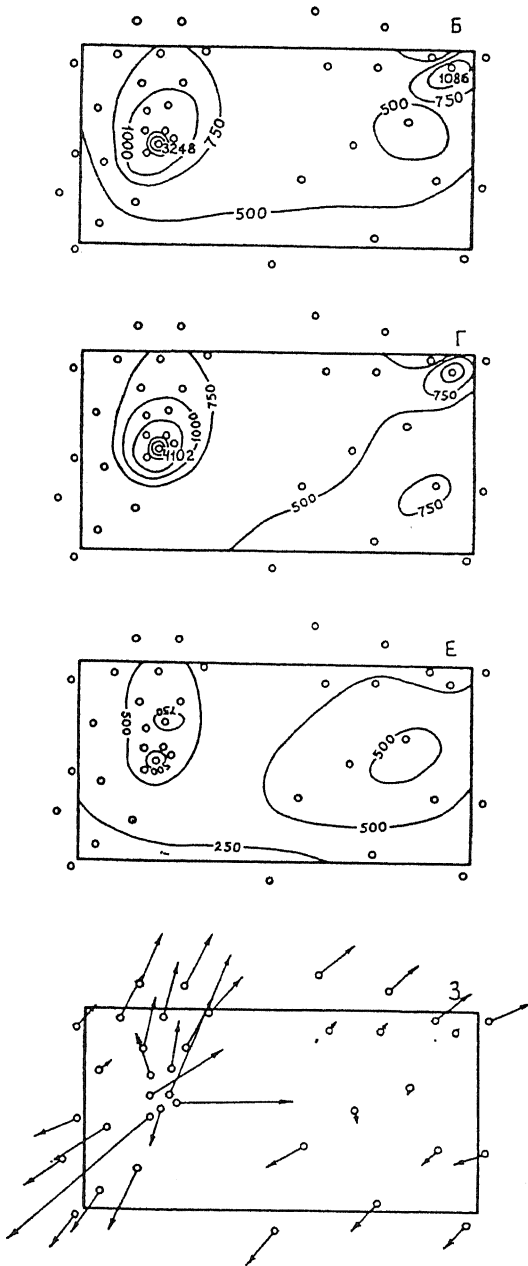
$${}_jV = \sum_{i=1}^{n-m-1} \frac{P_i}{D_{ij}} + P_j \quad (2.5)$$

где m — число пунктов, имеющих идентичные с рассматриваемым центром виды услуг (рис. 10, Е).

Для оценки степени рациональности размещения учреждений удобен показатель суммарных затрат (${}_jU$) на перемещение к точке j . Формулу суммарных затрат можно представить в следующем виде:

$${}_jU = \sum_{i=1}^{n-1} P_i \cdot D_{ij} + P_j \quad (2.6)$$





Показатель суммарных затрат, выраженный в тыс. чел./км, приведен на рис. 10, Ж.

Наконец, на рис. 10, З показано векторное представление потенциала. В этом случае длины векторов рассчитывались как величины P_i/D_{ij} от каждого пункта, а направление — в зависимости от их взаимного расположения с последующим их суммированием по правилу сложения векторов (людность пункта, для которого рассчитывается потенциал, не учитывается).

Рис. 10. Фрагменты прикладных методик расчета потенциала поля расселения: А — исходные данные; Б — обычный потенциал, рассчитанный по 37 пунктам; В — потенциал, рассчитанный по 25 пунктам; Г — потенциал, рассчитанный с учетом времени на преодоление реальных расстояний между пунктами; Д — потенциал, не учитывающий отношения P_i/D_{ij} в формуле (2.4) от двух пунктов, имеющих средние школы; Е — потенциал, где людность пунктов, имеющих школы, приравнена нулю; Ж — показатель суммарных затрат, вычисленный по формуле (2.6); З — векторное представление потенциала

В некоторых случаях, для исключения влияния соседних учреждений на рассматриваемый регион, следует расчет потенциала вести в пределах зон влияния данных учреждений обслуживания. В связи с этим встает задача объективного выделения зон влияния учреждений обслуживания (городов и т.д.). В общем она сводится к расчленению изучаемой территории на районы, выделяемые относительно центров районообразования. Для этой цели в отечественной и зарубежной литературе предлагаются некоторые способы (Ныммик, 1969; Свентэк, Тикунов, 1971; Тикунов, 1985б; и др.).

При расчете потенциалов в зависимости от целей исследования в качестве показателя P (см. формулу (2.4)) может быть использована не только численность населения в пунктах, но и какая-то ее часть (выделяемая по возрасту, полу, образованию и т.д.). В некоторых случаях следует учитывать также не “воздушные” расстояния, рассчитываемые по приращениям координат, а реальную длину путей, время, затраченное на преодоление пути (рис. 10, Г), и др. Это имеет особо важное значение для тех районов, где дороги, связывающие населенные пункты, имеют сложную конфигурацию (например, из-за сложности рельефа и других физико-географических условий). Расчет потенциала с учетом реальной сети дорог чрезвычайно трудоемок.

На кафедре экономической географии Казанского университета разработан метод расчета потенциала поля расселения с учетом реальных расстояний по транспортным путям (Архипов и др., 1976, с. 166–168). Для этих же целей нами был предложен способ, использующий электрическое моделирование на сетках резисторов (Евтеев, Свентэк, Тикунов, 1974).

Между формулой демографического влияния любого пункта i на точку j

$${}_jV_i = \frac{P_i}{D_{ij}} \quad (2.7)$$

и законом Ома

$$I = \frac{U}{R} \quad (2.8)$$

несложно установить аналогию, что позволяет применять электрические аналоговые схемы для построения карт потенциала поля расселения. Полная изоморфность формул (2.7) и (2.8) предполагает простоту построения электрической модели.

Сеть дорог моделируется набором резисторов, величина сопротивления (R) которых обратно пропорциональна длине путей, их

пропускной способности, скорости передвижения по ним, объему пассажирских или грузовых перевозок, времени, затраченному в пути, и т.д. (D) в зависимости от конечной цели решаемой задачи. На изготовленной модели к пунктам i поочередно прикладывается электрическое напряжение (U), пропорциональное людности пунктов (P). А в точке j замеряются ($n - 1$ раз) значения силы тока (I), которые затем суммируются. Операция повторяется для каждого пункта.

В некоторых случаях (при расчете потенциала с учетом реальных расстояний) результаты, получаемые при аналитическом пути решения на ЭВМ и с использованием аналоговых схем, могут различаться. Объясняется это следующим. В тех случаях, когда пункты соединены несколькими дорогами, при расчете на ЭВМ выбирается кратчайшая из них, а при использовании электрической цепи в процессе моделирования будут участвовать все дороги. При очень сложной разветвленной сети дорог, где формальный расчет потенциала затруднен, силы токов в электрической цепи устанавливаются так, что сумма поглощаемой в цепи энергии имеет минимальное значение, что, на наш взгляд, очень ценно в решении некоторых географических задач.

Построенный нами фрагмент карты потенциала поля расселения с помощью электрической модели оказался близким к фрагменту 10, Г. Это произошло из-за того, что на данной территории имелись лишь две разветвляющиеся дороги. Заметим, что и этот способ достаточно трудоемок, а потому объем решаемых задач ограничен.

Рассмотрение различных методик создания карт потенциала поля расселения позволило сделать следующие основные выводы.

1. О возможности расчета потенциала поля расселения с использованием сокращенной статистики, что уменьшает объем вычислительных работ. Хотя к этой возможности надо подходить очень осторожно, не теряя чувства меры. Естественно, для точных расчетов необходимо использовать все населенные пункты.

2. О целесообразности расчета потенциала по регулярной решетке. Расчет по регулярной решетке методически более логичен, поскольку подчеркивает непрерывность поля потенциала, лучше подходит для целей автоматизированного интерполирования изолиний и т.д. Способ имеет недостаток, присущий всем методам, использующим для вычисления регулярные решетки: сложность в выборе оптимального размера решетки и неоднозначность решения, зависящая от того, как эту решетку расположить на карте. Хотя при практических расчетах потенциала расхождения могут поглощаться за счет интервалов шкалы изолиний и не влиять на конечный результат.

3. О строгом подходе к выбору территориальных рамок, зависящих от целевого назначения карт, при различных методах расчета потенциала, в том числе только в пределах зон влияния учреждений обслуживания, городов и т.д.

4. О необходимости учета “искаженных” значений потенциала на краях расчетных участков и при возможности устранения этих искажений, например, за счет включения в расчеты населения прилегающих территорий.

Наряду с моделями потенциала достаточную популярность приобрели модели, учитывающие категории пространственного соседства (Симонов, 1970, 1972; Бахчиев, Лебедев, 1974; и др.).

II.1.3. Модели аппроксимации поверхностей пространственных географических распределений

Широкое распространение в тематической картографии получили модели аппроксимации поверхностей пространственных географических распределений в целях выяснения общих закономерностей распространения явлений и определения участков территории, где сказывается действие осложняющих факторов. Формальный аппарат аппроксимации весьма разнообразен (Берлянт, 1978). Он включает алгебраические, ортогональные и экспоненциальные приближающие функции, бикубические, тригонометрические, мультиквадриковые и другие аппроксимации. Однако выбор оптимальных вариантов аппроксимации нередко выполняется с формальных позиций; содержательному обоснованию уделяется недостаточное внимание.

Этот вид моделирования обычен в применении к природным явлениям (Девдариани, 1967; Берлянт, 1969, 1978; Крамбейн, Грейбилл, 1969; Харбух, Бонэм-Картер, 1974; Hagggett, 1964; Chorley, Hagggett, 1965; и др.), хотя известны примеры использования аппроксимации статистических поверхностей и на картах социально-экономической тематики (Лютый, 1973; Жуков, Сербенюк, Тикунов, 1980; и др.).

В картографическом плане наиболее часто осуществляется разложение поверхностей на фоновую и остаточную составляющие и создание двух производных карт. Первая из них — карта фоновой поверхности, или тренда, — показывает пространственное размещение ведущего фактора, а вторая — карта остаточной поверхности — передает размещение региональных аномалий (Берлянт, 1969). В математическом смысле создание этих моделей заключается в отделении генерального тренда от случайных отклонений, отчасти объясняемых влиянием второстепенных причин.

Модель тренда в случае использования полинома степени m может быть представлена формулой

$$Z = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^{m-1} A_{ij} X^i Y^j, \quad (2.9)$$

где Z — картографируемый показатель; A_{ij} — коэффициенты полинома; X^i, Y^j — координаты точек, по которым производится аппроксимация. Если необходимо обеспечить положительность аппликат Z , то выгодно использовать экспоненциальный полином

$$Z = \exp \left(\sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^{m-1} A_{ij} X^i Y^j \right), \quad (2.10)$$

поскольку экспонента не может принимать отрицательных значений. Но при этом необходимо иметь в виду, что логарифмирование наблюдаемых величин ослабляет влияние больших отклонений и в значительной мере осредняет имеющиеся различия (Гуринов, Сербенюк, 1978).

Важная особенность приведенной аналитической функциональной записи трендов состоит в представлении моделируемых величин как целостных континуальных образований, представляемых на картах изолиниями. Применение аппроксимации позволяет создавать карты статистических поверхностей, дающих в соответствующей мере приближенное описание исследуемого явления. Задавая различную степень полинома, можно получать аппроксимируемую фоновую поверхность различного порядка — от первого для отображения общих черт в виде плоскости до поверхностей степени m , которые с повышением степени будут все ближе приближаться к реальной статистической поверхности явления. Расчет фоновых поверхностей производится под условием минимизации суммы квадратов отклонений от реальных поверхностей, причем эти отклонения можно также рассматривать как поверхность — остаточную. Фоновые и остаточные поверхности, изображенные в виде соответствующих карт, позволяют выявлять территориальные закономерности размещения явлений.

Наиболее простое в математическом отношении построение моделей аппроксимации основано на применении статистических данных, приуроченных к узлам равномерной сетки. Выбор величины территориальных ячеек в этом случае обуславливается детальностью исходных данных, возможностями вычислительной техники и требуемой точностью описания моделируемого явления. Наличие исход-

ных статистических данных, специально собранных по равномерной сетке, — скорее исключение, чем правило, хотя в ряде стран уже реализуется сбор или пересчет статистических данных, например, применительно к прямоугольным координатным сеткам топографических карт.

В случае отсутствия таких данных пересчет статистических сведений для ячеек избранной сетки производится в процессе моделирования. При использовании статистических сведений, локализованных по пунктам (например, о численности жителей в населенных пунктах), возможно простое суммирование статистических данных для всех пунктов, попадающих внутрь каждой ячейки. Возможен также пересчет данных, представленных по отдельным административно-территориальным или природным единицам. Примером построения такой модели по регулярной сетке квадратов может служить аппроксимация условной поверхности капиталовложений в промышленность Польши и ее отображение на картах фоновых и остаточных поверхностей (Жуков, Сербенюк, Тикунов, 1980).

Сложнее моделирование на основе нерегулярных сетей, которое можно проиллюстрировать на примере аппроксимации средне-многолетней урожайности картофеля по группе областей Нечерноземья (Жуков, Сербенюк, Тикунов, 1980). Использование областного территориального деления эффективно для анализа страны в целом или ее крупных частей. Именно такую часть представляет территория Нечерноземья, центральные районы которой показаны на картах (рис. 11–13). Заметим, что для того, чтобы на краях исследуемой территории не было искаженных участков, в математический анализ включались данные и по смежным областям, не показанным на картах, вплоть до Архангельской области. Такой прием расширения территориальных рамок полезно использовать, если имеются соответствующие источники, а исследуемая территория не замкнута жесткими рамками, например государственными границами.

Использование конкретных территориальных единиц, а не регулярных сеток налагает определенные ограничения на привлекаемые данные и вызывает необходимость учета различий в площадях территориальных единиц. Поэтому для нашего примера привлечены относительные показатели — средняя многолетняя урожайность картофеля по областям. Чтобы исключить случайности, вызванные влиянием отдельных неурожайных или очень урожайных лет и другими причинами, были привлечены данные за достаточно длинный

a



b



c



Рис. 12. Фоновые поверхности урожайности картофеля

d



e



f



(ц/га): а-ф — поверхности с 1-й по 6-ю степень

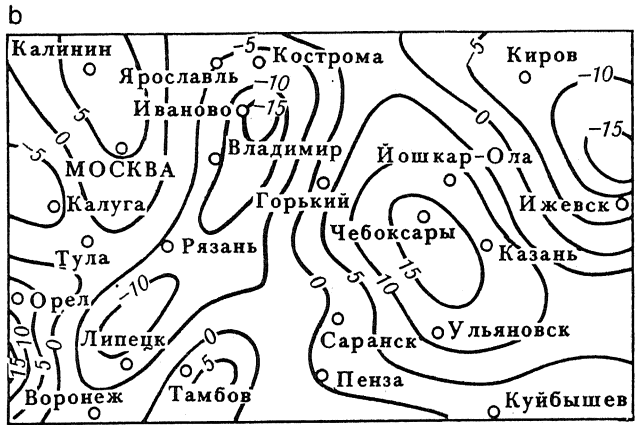


Рис. 13. Остаточные поверхности урожайности картофеля

d



e



f



(ц/га): а-г — поверхности с 1-й по 6-ю степень

ряд лет — с 1947 по 1975 г.* Предварительное изучение и картографирование этих данных (см. рис. 11) показывают наличие существенных различий урожайности (от 60 до 120 ц/га), которые можно проанализировать при помощи моделирования фоновых и остаточных поверхностей.

Карта фоновой поверхности 1-й степени (рис. 12, *a*) отмечает тенденцию убывания урожайности с севера на юг (при небольшом наклоне изолиний к западу, правомерно фиксирующем влияние более влажных областей северо-запада и засушливого юго-востока). На уменьшение урожайности картофеля в общем сказывается переход от умеренно теплого и влажного к жаркому и сухому климату в летнее время, т.е. к менее благоприятным условиям для возделывания картофеля.

На карте фоновой поверхности 2-й степени (рис. 12, *b*) начинает вырисовываться “прогиб” изолиний к северу в направлении от Пензы к Иванову, правомерно отмечающий зону уменьшения урожайности. Значительное отклонение изолиний намечается и в районе Кирова, в чем сказывается влияние высокоурожайных районов Северного Поволжья. Оно еще очевиднее на карте фоновой поверхности 3-й степени (рис. 13, *c*), которая также уточняет простираение центральной зоны пониженных урожаев и западной зоны повышенной урожайности (к югу от Калуги и Тулы).

На карте фоновой поверхности 4-й степени (рис. 12, *d*) улучшается отображение зоны высоких урожаев в районах Костромы — Йошкар-Олы и меньшей урожайности в Кировской области. Еще определеннее этот район очерчивается на карте фоновой поверхности 5-й степени (рис. 12, *e*), на которой замыкаются изолинии высоких значений урожайности в районе Йошкар-Олы и пониженных — в районе Ижевска. Карта правильнее показывает и зону понижения урожайности, простирающуюся с юга вплоть до Иванова. Эти закономерности еще более уточняются на карте фоновой поверхности 6-й степени (рис. 12, *f*). Она детализирует рисунок районов высокой урожайности в Тверской и Курской областях и подчеркивает повышение урожайности в Московской области (по сравнению с окружающими областями), что можно объяснить не только благоприятностью природных условий, но и более высокой в целом культурой земледелия.

О постепенном повышении точности и детальности аппроксимации урожайности свидетельствуют карты остаточных поверхностей.

* Матрица динамических рядов урожайности имела два пропуска, восстановленных по алгоритму, описанному в гл. V.3.

Уровень отклонений фоновых поверхностей от фактических значений урожайности наиболее высок для поверхности 1-й степени — до 20 ц/га и более (рис. 13, *a*). Центры этих отклонений приходятся на районы с высокой урожайностью (Поволжье и Курская область) и на районы с более низкой урожайностью (Ивановская область). В первом случае фоновая поверхность как бы срезает пики “рельефа” урожайности, а во втором — заполняет впадины.

Остаточный “рельеф” значителен и на карте поверхности 2-й степени (рис. 13, *b*), хотя отклонения здесь уже не превышают 15–20 ц/га. Однако в ряде районов (Удмуртия, Липецкая и Тамбовская области) отклонения усилились. Нет характеристики улучшения этих районов и на карте остаточной поверхности 3-й степени (рис. 13, *c*), хотя другие районы отображены более точно: в них отклонения не превышают 10–15 ц/га. Постепенное уменьшение отклонений показывают карты остаточных поверхностей 4-й и 5-й степеней. Наиболее удовлетворительно изображение урожайности на карте 6-й степени, для которой значения остаточной поверхности (рис. 13, *f*) уже не превышают 5–7 ц/га, т.е. меньше, чем, к примеру, интервалы картограммы на рис. 11. Поэтому фоновую поверхность 6-й степени можно считать вполне приемлемым математическим описанием региональных изменений урожайности картофеля в изучаемых областях Нечерноземья. Ценность таких карт представляется в их применении для решения конкретных производственных или научных задач.

II.2. МОДЕЛИ СТРУКТУРЫ СОДЕРЖАТЕЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЯВЛЕНИЙ

II.2.1. Модели снижения размерности многомерных географических данных

Модели структуры содержательных характеристик явлений могут быть представлены широко известными алгоритмами группировки территориальных единиц по комплексу показателей. В этом случае исследуются многопараметрические географические явления, которые по определенным алгоритмам классифицируются на однородные группы (таксоны), как правило, на основе подобия их внутренних структур, выражаемых через систему признаков-индикаторов. При этом могут создаваться карты как типологической, так и оценочной тематики. Поставленная задача, связанная с моделированием таких человеческих способностей, как способность распознавать и классифицировать объекты по ряду признаков, очень сложна. В связи

с этим неудивительно столь быстрая математизация разделов географии и картографии, занимающихся вопросами классификации географических явлений и составлением синтетических карт, отражающих типологию изучаемых объектов, выявляющих наиболее значимые, весомые характеристики картографируемых явлений или устанавливающих сравнительную оценку различного назначения для географических комплексов и т.д.

В географии для алгоритмизации данных задач раньше всего стали использоваться так называемые формальные методы, из которых наиболее распространены факторный анализ и метод главных компонент, а также целый ряд других методов, например экстремальной группировки параметров (Браверман, 1970) и др. Первой “ласточкой” среди отечественных работ по классификации географических объектов с использованием факторного анализа была статья В.М. Жуковской (1964), за которой последовала “лавина” работ, в том числе посвященных вопросам картографирования (Сербенюк, 1972; Жуковская, Кузина, 1973; Лайкин, Червяков, 1974; Сербенюк, Тикунов, 1974; Топчиев, 1974; Головина, 1977; Dean, 1970; и др.).

В кратком изложении, как это сделано в работе (Сербенюк, Тикунов, 1974), сущность факторного анализа и метода главных компонент такова. Факторный анализ позволяет свести большое количество исходных показателей к меньшему числу факторов с потерей небольшой части первоначальной информации. Факторы получаются как линейные комбинации исходных показателей. На основе этих факторов можно вычислить интегральные (синтетические) показатели, дающие качественно новую обобщенную информацию. Допустим, что имеется множество территориальных единиц (ζ) в количестве n . Каждая территориальная единица характеризуется фиксированным набором из m исходных показателей, на основе которых в дальнейшем будет осуществляться агрегирование территориальных единиц. Весь набор показателей для любой территориальной единицы может быть записан как m -мерная вектор-строка $[x_1, x_2, x_3, \dots, x_m]$, а для всех n единиц вместе — как матрица X :

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{21} & x_{31} & \dots & x_{m1} \\ x_{12} & x_{22} & x_{32} & \dots & x_{m2} \\ x_{13} & x_{23} & x_{33} & \dots & x_{m3} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{1n} & x_{2n} & x_{3n} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}. \quad (2.11)$$

Статистические свойства данной матрицы для нормированных показателей задаются корреляционной матрицей

$$R = \begin{bmatrix} 1 & r_{12} & r_{13} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & 1 & r_{23} & \dots & r_{2m} \\ r_{31} & r_{32} & 1 & \dots & r_{3m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & r_{m3} & \dots & 1 \end{bmatrix}. \quad (2.12)$$

Элементы матрицы — обычные парные коэффициенты корреляции:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n \sigma_x \sigma_y}, \quad (2.13)$$

где \bar{x} и \bar{y} — среднеарифметические значения двух коррелируемых рядов показателей, а σ_x и σ_y — среднеквадратические отклонения.

Основная модель факторного анализа может быть записана

$$x_j = \sum_{i=1}^k l_{ji} f_i + e_j, \quad j = 1, 2, 3, \dots, m, \quad (2.14)$$

где x_j — исходные показатели; f_i — значения i -го фактора; l_{ji} — коэффициенты при f_i (нагрузка i -го фактора в j -ом показателе); k — количество факторов; e_j — остатки (случайные величины), представляющие собой источники отклонений. Величины e_j предполагаются независимыми как между собой, так и с факторами f_i и влияют только на x_j .

Основная теорема факторного анализа утверждает, что коэффициент корреляции двух независимых показателей можно выразить суммой произведений коэффициентов l_{ji} при f_i . Например, когда исходные показатели x_1 и x_2 имеют один фактор f_i , то

$$r_{12} = l_{1i} l_{2i}. \quad (2.15)$$

В общем случае, когда j переменных имеют k факторов, можно записать

$$r_{12} = l_{11} l_{21} + l_{12} l_{22} + l_{13} l_{23} + \dots + l_{1k} l_{2k}. \quad (2.16)$$

Обозначим дисперсии остатков e_j через v_j . Тогда по уравнению (2.14) любой коэффициент корреляции r_{jq} определится через нагрузки l_{ji} и дисперсии остатков v_j :

$$\begin{aligned} r_{jj} &= \sum_{i=1}^k l_{ji}^2 + v_j, \\ r_{jq} &= \sum_{i=1}^k l_{ji} l_{qi}. \end{aligned} \quad (j \neq q) \quad (2.17)$$

В матричной форме для всей корреляционной матрицы \mathbf{R} запись будет иметь вид

$$\mathbf{R} = \mathbf{L}\mathbf{L}' + \mathbf{B}, \quad (2.18)$$

где \mathbf{L} — матрица факторных нагрузок; \mathbf{L}' — транспонированная матрица \mathbf{L} ; \mathbf{B} — диагональная матрица с элементами $v_j = e_j^2$, выражающая остаточные дисперсии.

Модель хорошо описывает экспериментальные данные в том случае, если вычисленные коэффициенты корреляции мало отличаются от выборочных коэффициентов корреляции, которые служили исходной информацией для факторной модели. Следовательно, в модели факторного анализа требуется наилучшим образом аппроксимировать выборочные корреляции факторными нагрузками.

С геометрической точки зрения задача факторного анализа заключается в линейном преобразовании m -мерного пространства в k -мерное ($k < m$). Эту задачу нельзя решить однозначно, так как m исходных показателей можно выразить через $(m + k)$ других переменных. В силу этого появляется неопределенность факторных решений, так как они, определяя k -мерное пространство, содержащее общие факторы, не определяют базиса в этом пространстве и, следовательно, не фиксируют положения факторов в данном пространстве. Из этого следует, что представление корреляционной матрицы факторами (факторизацию) можно произвести бесконечно большим числом различных способов.

Если произвести факторизацию с помощью некоторой матрицы \mathbf{L} , то любое ее линейное ортогональное преобразование (вращение) приведет к такой же факторизации. Это часто используют, чтобы упростить результаты анализа и сделать его более осмысленным. Исследователь может вращать факторы до тех пор, пока не получит результаты, поддающиеся географической интерпретации. Однако это нельзя считать объективной процедурой. Од-

ни и те же факторы разные ученые могут рассматривать в различных положениях, что может привести к недоразумениям. Затруднительно также сравнение факторов из двух популяций даже с одинаковым набором показателей. Так, трудности интерпретации иногда приводят к критике самой факторной модели (Праги, 1978; и др.).

Существуют также попытки определить некоторую каноническую форму решения, позволяющую вывести суждение об эквивалентности двух решений. Как указывает Г. Харман (1972), вращение к каноническому виду есть способ приведения произвольного решения к некоторой математически фиксированной системе координат. Различные решения считаются эквивалентными, если, будучи приведены к каноническому виду, они совпадают. В вышеуказанной книге излагается алгоритм приведения произвольного решения к канонической форме (с. 187–188). Произвол во вращении факторов в некоторой степени устраняется, если исследователь заранее постулирует ожидаемое число факторов при анализе, а также определяет, какие показатели будут иметь нулевые или очень незначительные нагрузки на различные факторы. Некоторые методы, исключаящие вращение, изложены в работе (Лоули, Максвелл, 1967, с. 73–83).

Из фундаментальных работ по факторному анализу известно, что лучшим методом, который дает эффективные оценки факторных нагрузок, является метод максимального правдоподобия. Однако в географических исследованиях часто используют центроидный метод как первое приближение классического факторного анализа. Этот метод был широко распространен до появления ЭВМ как наиболее простой путь решения. При наличии ЭВМ нет необходимости подменять метод максимального правдоподобия приближенными методами. Центроидные нагрузки могут быть использованы как начальные оценки для метода максимального правдоподобия. Это имеет смысл, так как такие начальные оценки облегчают итеративный процесс. Алгоритмы и программы факторного анализа в его приложениях для решения географических задач с использованием ЭВМ приведены в работах (Сидоров, Максимов, 1966; Сербенюк, 1972; Жуковская, Мучник, 1976; Жуков, Сербенюк, Тикунов, 1980; и др.).

В противоположность факторному анализу, предполагающему наилучшим образом аппроксимировать выборочные корреляции, метод главных компонент, или, как его еще называют, компонентный анализ, ставит перед собой цель — выделение максимальной дисперсии.

Основная задача данного метода заключается в преобразовании m случайных величин (x) в новый набор j случайных величин (z), которые независимы и расположены в порядке уменьшения дисперсий. Новые случайные величины называются главными компонентами и представляют собой линейные комбинации m исходных показателей.

С точки зрения геометрии метод главных компонент сводится к переходу к новой ортогональной системе координат. Если представить n территориальных единиц в виде точек в m -мерном пространстве, каждая ось которого соответствует одному из показателей, то облако точек будет иметь форму, близкую к m -мерному эллипсоиду. В случае нормального распределения показателей облако точек будет в точности совпадать с формой m -мерного эллипсоида (Харман, 1972). Естественно поэтому взять систему координат, образованную главными осями этого эллипсоида для получения главных компонент. Для этого новую систему координат строят так, что ее первая ось идет в направлении наибольшего изменения в совокупности исследуемых показателей. Вторая ось располагается ортогонально к первой, т.е. идет в направлении наибольшего изменения всех оставшихся показателей. Этот процесс продолжают, пока не построит j новых осей ($j \leq m$).

Основное уравнение метода главных компонент можно записать в виде

$$x_j = \sum_{i=1}^m \omega_{ji} z_i, \quad j = 1, 2, 3, \dots, m, \quad (2.19)$$

где x_j — исходные показатели; z_i — главные компоненты; ω_{ji} — вес j -го показателя в i -й компоненте. С точки зрения матричной алгебры главные компоненты являются собственными векторами корреляционной матрицы. Решив уравнение $|\mathbf{R} - \lambda \mathbf{I}| = 0$, где \mathbf{I} — единичная матрица, получаем m действительных положительных корней λ . Каждому корню (собственному числу) соответствует собственный вектор. Наибольший корень является дисперсией первой главной компоненты.

Корреляционная матрица \mathbf{R} подвергается диагонализации так, что

$$\mathbf{R} = \mathbf{U} \mathbf{L} \mathbf{U}', \quad (2.20)$$

где \mathbf{U} — ортогональная матрица, полученная из \mathbf{R} ; \mathbf{U}' — транспонированная матрица \mathbf{U} ; \mathbf{L} — диагональная матрица, состоящая из собственных чисел λ матрицы \mathbf{R} . Коэффициенты корреляции между

показателями (x) и главными компонентами (z) образуют матрицу $W = UL^{1/2}$:

$$W = UL^{1/2} = \begin{array}{c|cccc} & z_1 & z_2 & z_3 & \dots & z_m \\ \hline & \omega_{11} & \omega_{12} & \omega_{13} & \dots & \omega_{1m} \\ & \omega_{21} & \omega_{22} & \omega_{23} & \dots & \omega_{2m} \\ & \omega_{31} & \omega_{32} & \omega_{33} & \dots & \omega_{3m} \\ & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ & \omega_{m1} & \omega_{m2} & \omega_{m3} & \dots & \omega_{mm} \end{array} \begin{array}{l} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ \dots \\ x_m \end{array} \quad (2.21)$$

Сумма квадратов элементов строки матрицы есть дисперсия данного показателя, которая равна единице. Если складывать квадраты чисел по столбцам, то получим дисперсии главных компонент (собственные числа), т.е.

$$\begin{array}{l} \omega_{11}^2 + \omega_{21}^2 + \omega_{31}^2 + \dots + \omega_{m1}^2 = \lambda_1 \\ \omega_{12}^2 + \omega_{22}^2 + \omega_{32}^2 + \dots + \omega_{m2}^2 = \lambda_2 \\ \omega_{13}^2 + \omega_{23}^2 + \omega_{33}^2 + \dots + \omega_{m3}^2 = \lambda_3 \\ \dots \\ \omega_{1m}^2 + \omega_{2m}^2 + \omega_{3m}^2 + \dots + \omega_{mm}^2 = \lambda_m \end{array} \quad (2.22)$$

Из данного выражения видно, что λ_i представляют собой оценку силы линейной связи между z и вектором исследуемых показателей (x).

В практике географических исследований, как правило, используют главные компоненты с большими дисперсиями. Компоненты, имеющие малые дисперсии, отбрасываются. Например, если различия между географическими объектами сводятся к двум линейным комбинациям, то исследователь может изучать именно эти две величины. Другие линейные комбинации отбрасываются, так как они мало изменяются от одного объекта к другому и, следовательно, дают мало информации о различиях между объектами. Таким образом, метод главных компонент позволяет сократить число случайных величин без существенной потери информации об изменчивости. Однако, чтобы учесть полную дисперсию показателей, необходимо учитывать все m компонент. Это видно из основного уравнения метода главных компонент, не содержащего остаточной составляющей e_j , как это имеет место в факторной модели.

Поскольку метод главных компонент связан с суммарной дисперсией показателей, то он наиболее эффективен, когда все показатели измеряются в одних единицах. Поэтому обычно показатели выража-

ют в стандартной форме — нормируют, о чем будет идти речь в дальнейшем. Метод главных компонент можно применять без ограничений к функции распределения анализируемых показателей. В данном методе нет необходимости делать какие-либо предположения о показателях. Они не обязаны быть случайными величинами, хотя их часто рассматривают как выборку из генеральной, нормально распределенной совокупности (Налимов, 1971). Подробное изложение алгоритмов и программ компонентного анализа можно найти в целом ряде работ (Сербенюк, 1972; Максимов, 1972; Рахлина, 1973; Жуков, Сербенюк, Тикунов, 1980; и др.).

Для целей картографирования результатов факторного или компонентного анализа необходимо вычисление значений факторов по каждой из территориальных единиц. Известны различные методы расчетов. Среди них наиболее прост и часто используется в географических исследованиях метод, который сводится к следующему выражению показателей:

$$F = XL, \quad (2.23)$$

где X — матрица, столбцы которой представляют исходные показатели; L — матрица, отражающая факторные (компонентные) нагрузки; F — искомая матрица, столбцы которой соответствуют факторам (компонентам), выраженным через исходные показатели.

В этом уравнении факторы (компоненты) определяются как взвешенные суммы исходных показателей, значения которых предварительно нормируются. Используя характеристики величин исходных показателей и их нагрузок на каждый из факторов или компонент (аналогично удельным весам), определяется значение факторов (компонент) по каждой из территориальных единиц. Картографирование данных характеристик позволяет создавать разнообразные тематические карты.

Однако ряд ученых считает, что результаты моделирования очень часто оказываются сложно интерпретируемы, даже при использовании вращения факторов, влияющего на конечные результаты. Определенное влияние оказывает субъективизм в выборе градаций для группировки территориальных единиц в таксоны на основе матрицы F (Праги, 1978; Johnston, 1977). Г.Т. Максимов считает, “что ни один из этих методов (факторный, компонентный и др.) не дает готовой типологии. Другими словами, результат многомерного анализа является только руководством при группировке, а не ответом. Выделение конкретных классов зависит от эрудиции и искусства исследователя” (Максимов, 1972, с. 60). В связи с этим, на наш

взгляд, эффективнее использовать факторный и компонентный анализы не как самостоятельные методы, а как части более сложных моделей, описанных в последующих двух параграфах.

II.2.2. Моделирование типологических синтетических характеристик

Задачи классификации географических комплексов широко распространены. Для этих целей используется большое количество алгоритмов, в основе которых лежат различные друг от друга способы членения исходного множества изучаемых объектов на непересекающиеся подмножества (Аркадьев, Браверман, 1971; Дорофеюк, 1971; Мучник, Петренко, 1972; Фомин, 1972; Занадворов, 1973; Розин, 1973; Горелик, Скрипкин, 1974; Айвазян и др., 1989; и др.).

Среди всего многообразия алгоритмов встречаются как автоматические классификации ("без учителя"), так и классификации "с учителем", которые позволяют обучать ЭВМ на отобранных эталонах любым принципам группировки изучаемых объектов с последующей дифференциацией всей совокупности по тем же критериям, которые могут быть даже интуитивными, не формализованными.

Модели группировки территориальных единиц по комплексу показателей, используемые в географии, на основе целей их применения можно подразделить на две большие группы, ориентированные на моделирование оценочных и типологических характеристик. В первом случае модели строятся при условии гомогенности территориальных единиц внутри таксонов, которые должны быть иерархически упорядочены между собой. Условие создания моделей второго типа — лишь гомогенность объединяемых в одну группу территориальных единиц. В пределах данного вида моделей может ставиться дополнительное условие максимальной гетерогенности между однородными таксонами и др.

Примером моделирования типологических характеристик может служить классификация сельскохозяйственных предприятий по специализации производства. В то же время можно указать на примеры оценки природных и экономических условий для различных целей, свидетельствующие о распространенности задач, когда требуется получение сравнительных оценочных характеристик. Картографические компоненты данных видов моделей являются соответственно типологическими и оценочными картами. Математические алгоритмы, используемые для создания данных карт, также различаются (Тикунов, 1978).

Судя по количеству публикаций, внимание исследователей прежде всего было обращено на наиболее простые методы классификации при создании моделей типологии синтетических характеристик. Среди них в первую очередь следует назвать метод “вроцлавской таксономии” (Левинский, 1971; Свентэк, Соколовский, Тикунов, 1972; Оганян, Тикунов, 1973; Сербенюк, Тикунов, 1974; Шаблий, 1974; Свентэк, Тикунов, 1976; Симонов, Симонова, Жуков, 1981; Perkal, 1953; Jedut, 1970; Bielecka, Paprzycki, Piasecki, 1977; Jelonek, Olszowka, 1977; и др.). Модель “вроцлавской таксономии” предполагает нормировку матрицы исходных показателей (2.11) по дисперсиям:

$$\hat{x}_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{\sigma_j}, \quad \begin{matrix} i = 1, 2, 3, \dots, n, \\ j = 1, 2, 3, \dots, m, \end{matrix} \quad (2.24)$$

$$\bar{x}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij}; \quad \sigma_j = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}.$$

Нормированные показатели (\hat{x}_{ij}) образуют матрицу, идентичную матрице (2.11), на основе которой рассчитываются евклидовы расстояния. Все территориальные единицы представляются в виде точек в m -мерном пространстве, координатами которых служат нормированные исходные показатели. Евклидовы расстояния (d_{ik}), соединяющие каждую пару точек, отражают различие свойств территориальных единиц, на чем основывается дифференциация территории. Их вычисление осуществляется по известной формуле

$$d_{ik} = \sqrt{\sum_{j=1}^m (\hat{x}_{ij} - \hat{x}_{kj})^2}, \quad \begin{matrix} i = 1, 2, 3, \dots, n, \\ k = 1, 2, 3, \dots, n. \end{matrix} \quad (2.25)$$

Все рассчитанные расстояния образуют симметричную матрицу с нулевыми элементами на главной диагонали:

$$D = \begin{bmatrix} 0 & d_{12} & d_{13} & \dots & d_{1n} \\ d_{21} & 0 & d_{23} & \dots & d_{2n} \\ d_{31} & d_{32} & 0 & \dots & d_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_{n1} & d_{n2} & d_{n3} & \dots & 0 \end{bmatrix}. \quad (2.26)$$

Заметим, что формула (2.25) будет правильно отражать различия между территориальными единицами только для статистически

независимых показателей. Когда в расчете используются зависимые признаки-индикаторы, евклидовы расстояния искажаются. Поэтому для их устранения исходные нормированные показатели необходимо предварительно взвесить, например, по компонентным нагрузкам, выделенным с помощью метода главных компонент. Это позволяет привести исходные нормированные показатели к ортогональному виду, т.е. перейти к независимым величинам. Попутно, исключив компоненты, охватывающие небольшой процент дисперсии, можно генерализовать данные, исключая второстепенные или даже случайные вариации в системе исходных показателей-индикаторов.

На основе матрицы евклидовых расстояний строится “дендрит” — древовидный неориентированный граф связей территориальных единиц по комплексу показателей. Его удобно вычерчивать, соблюдая масштабность построений, т.е. откладывая каждый отрезок пропорционально соответствующему евклидову расстоянию. В этом случае близость точек на схеме будет свидетельствовать о степени однородности исследуемых территориальных единиц по комплексу показателей. Граф можно расчленять так, чтобы рассечь наиболее длинные расстояния и включить в одну группу объекты с близкими свойствами.

Кроме описанного простейшего метода существует достаточно большое количество других алгоритмов, пригодных для типологии, одно перечисление которых займет много места. Поэтому наряду с очень краткой характеристикой алгоритма “вrocławской таксономии”, полезного для уяснения сути многомерных классификаций, мы обратимся лишь к одному методу, разработанному автором (Тикуннов, 1983б). Условие построения данной модели-гомогенность территориальных единиц, объединяемых в группы (таксоны). Предложенный метод, аналогично предыдущему предполагает нормировку исходных показателей, например по формуле (2.24).

При наличии обоснованных “весов” каждого показателя их также можно ввести в формулу нормировки. Следует заметить, что в некоторых случаях нормировка вообще не нужна, или достаточно перевести значения показателей в проценты от их суммарных величин, что встречается при использовании моноструктурной системы показателей.

Для последующего расчета евклидовых расстояний в неискаженном виде требуется использование ортогональной системы координат, строящейся на основе нормированных исходных показателей. Поэтому для целей ортогонализации и “свертки” системы показате-

лей применяется, например, метод главных компонент, в противном случае, ведя расчеты в косоугольной системе координат, вычисляемые расстояния будут искажены (см. предыдущий параграф). Причем в случае сильно криволинейных связей рядов исходных показателей бывает целесообразно перед расчетом корреляционной матрицы использовать “объективный численный метод выравнивания и нормализации нелинейных попарно монотонных корреляционных связей” (Алексеев, 1971). Этот блок позволяет представить нормированные исходные показатели не только в линеаризованном виде, но и приводит их к нормальному распределению.

Следует заметить, что вместо евклидовых расстояний можно использовать коэффициенты корреляции (или величины, равные $1 - r$, где r — разнообразные коэффициенты корреляции), показатели ассоциации или иные меры расстояний (расстояния Махаланобиса, метода потенциальных функций и др.) (Розин, 1973; Коган, Белов, Родионов, 1983; и др.). Весь набор мер различия не эквивалентен между собой, т.е. их использование может привести к различающимся результатам. Поэтому в конкретных экспериментах полезно опробовать ряд мер, но не перебирая их все, для чего следует предварительно выделить эквивалентные меры. Методика такого исследования проведена в работе (Семкин, Двойченков, 1973), что сводит количество экспериментов до минимума.

Итак, выбрав одну из мер сходства территориальных единиц, например, евклидовы расстояния, обратимся к анализу матрицы D . Из данной матрицы выбирается наибольшее расстояние, а две территориальные единицы, которые оно связывает, становятся ядрами, вокруг которых будут образовываться однородные группы — таксоны. Эти группы формируются распределением оставшихся $(n - 2)$ территориальных единиц между двумя ядрами по минимальности евклидовых расстояний. В этом случае обе группы будут сформированы при условии минимальности внутригрупповых различий, выражаемых суммой евклидовых расстояний между всеми входящими в группы парами единиц. Формула для подсчета суммы различий такова:

$$W_k = \sum_{k=1}^{K-1} \sum_{l=k+1}^K \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n \left[\sum_{p=1}^P (x_{ip} - x_{jp})^2 \right]^{1/2} I_{ik} I_{jl}, \quad (2.27)$$

$$k = 2, 3, 4, \dots, t_{\max},$$

где K — число сформированных групп; P — количество ортогонализированных координат для расчета расстояний; n — число терри-

ториальных единиц; t_{\max} — максимальное количество групп; I_{ik} — индикатор (бинарный), указывающий наличие (1) или отсутствие (0) территориальной единицы i в группе k . Выражение в квадратных скобках соответствует выбранной евклидовой метрике.

На втором этапе (при формировании трех групп) алгоритм работает следующим образом. Два первых ядра остаются, а третье находится так. Каждая из $(n - 2)$ оставшихся территориальных единиц опробуется как третье ядро, а $(n - 3)$ остающиеся распределяются между тремя ядрами по минимальности евклидовых расстояний. Для каждого варианта группировки подсчитывается сумма внутригрупповых различий (см. формулу (2.27)), и тот вариант, который дает наименьшую сумму, принимается в качестве окончательного для трехгруппового деления, а территориальная единица, служившая ядром, фиксируется как окончательное третье ядро.

Процедура продолжается аналогично для формирования четырех, пяти, шести и т.д. однородных групп. Причем на каждом шаге определяется новое ядро и формируется новая группировка. В пределе можно получить n групп, однако для практических целей этого не требуется и устанавливается рубеж t_{\max} , исходя из логических соображений. Аналогично количество групп, которые следует анализировать, можно ограничить и снизу (t_{\min}). Получаемый ряд группировок можно анализировать на основе абсолютного и относительного коэффициентов неоднородности:

$$A_k = \frac{100 \left\{ \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n \left[\sum_{p=1}^P (x_{ip} - x_{jp})^2 \right]^{1/2} I_{ik} I_{jk} \right\}}{\sum_{i=1}^n \left[\sum_{p=1}^P (x_{ip} - \bar{x}_p)^2 \right]^{1/2}}, \quad (2.28)$$

$$K = t_{\min}, t_{\min} + 1, \dots, t_{\max},$$

$$O_k = \frac{100 \left\{ \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n \left[\sum_{p=1}^P (x_{ip} - x_{jp})^2 \right]^{1/2} I_{ik} I_{jk} \right\}}{\sum_{k=1}^{t_{\max}} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n \left[\sum_{p=1}^P (x_{ip} - x_{jp})^2 \right]^{1/2} I_{ik} I_{jk}}, \quad (2.29)$$

$$K = t_{\min}, t_{\min} + 1, \dots, t_{\max} - 1.$$

Если в уравнении (2.29) значение t_{\max} в знаменателе дроби заменить на $(K + 1)$, то можно рассчитывать коэффициенты неоднородности для последующего варианта. Для выбора окончательного варианта классификации наряду с названными коэффициентами можно использовать значения W_k (см. уравнение (2.27)) или их производные, взятые относительно величин, рассчитанных аналогичным образом по уравнению (2.29).

Резкое возрастание значений (A_k или O_k) при переходе от большего числа групп территориальных единиц к меньшему свидетельствует о существенном повышении неоднородности внутри выделенных таксонов. Напротив, плавное возрастание коэффициентов — признак равномерного увеличения неоднородности. Порог, за которым следует резкое возрастание A_k (O_k), целесообразно принимать за окончательное число таксонов.

Полученные результаты удобно анализировать по среднеарифметическим значениям каждого показателя, относительно всех территориальных единиц, входящих в тот или иной таксон. В ряде случаев целесообразно находить экстремальных значений в каждом таксоне по всем исходным показателям. Эти характеристики можно применять для смысловой характеристики таксонов.

Описанный алгоритм типологии производит классификацию при условии гомогенности территориальных единиц, объединяемых в таксоны. Однако в некоторых случаях необходимо условие не только гомогенности, но и максимальной гетерогенности ядер, служащих как бы эталонами для формирования таксонов. Для этого можно использовать специальный алгоритм (Тикун, 1978). Более подробное описание всех алгоритмов, тесты к ним и разнообразные примеры их использования в географии содержатся в книге (Тикун, 1985б).

Отметим также, что обе разработанные автором разновидности алгоритма могут также реализоваться в режиме классификации “с учителем”. Для этого требуется предварительный географически оправданный выбор обучающей совокупности территориальных единиц. Обучающая совокупность состоит из g наборов территориальных единиц, которые должны характеризовать g различных таксонов, по мнению специалиста-географа (в кибернетической системе “учителя”). Количество территориальных единиц, входящих в любой набор обучающей совокупности, не лимитируется и может варьировать (набор может быть представлен и одной территориальной единицей). В пределах данных наборов определяется g условных территориальных единиц со средними (по таксонам) комплексами показателей.

Далее обучающая совокупность, состоящая из g условных территориальных единиц, по уже известным алгоритмам классифицируется вначале на две, затем три группы и т.д. до тех пор, пока не будет сформировано g групп, в каждую из которых, естественно, будет входить всего лишь по одной условной территориальной единице. Рассматривая осредненные уже в пределах групп условные территориальные единицы как эталоны, можно по минимальности евклидовых расстояний распределить между ними оставшиеся территориальные единицы и получить соответствующие варианты классификации с числом таксонов, варьирующим в пределах от 2 до t_{\max} ($g \equiv t_{\max}$). Из полученного спектра вариантов на основе коэффициентов неоднородности выбирается один окончательный.

В случае классификации “с учителем” создаются модели, которые в свою формальную математическую ткань органически включают “эвристическое начало”, внешне подражая человеческому мышлению. Например, набор определенных признаков-индикаторов географического комплекса (входы системы) позволяет географу отнести его к какому-то определенному типу, каковыми могут быть типы ведения сельского хозяйства, промышленных пунктов и т.п. (выходы системы). Другой набор признаков-индикаторов, некоторые из которых могут быть схожими с предыдущими, географ относит к другому типу. При этом структура системы мышления географа нам неизвестна. Кибернетической моделью изложенного процесса будет называться такая математическая система, которая отнесет набор определенных показателей географического комплекса к тому же типу, что и человек. Очевидно при этом, что внутренняя структура кибернетической системы совершенно иная, чем у человека.

Заманчивая перспектива — научить машину распознавать географические комплексы по образу и подобию человеческого мышления — не беспочвенна. Специалисты-кибернетики отмечают “удачливость” задач распознавания образов, которую невозможно объяснить с помощью существующей статистической теории. Однако при передаче человеком части непроеизводительных функций машине тем не менее остается его главенствующая роль как специалиста, определяющего основные параметры классификации. Соответственно важность специальных географических знаний еще более повышается, в противном случае географ может оказаться в облике “программирующего собственное невежество”. Здесь же существует опасность обучать ЭВМ давно сформировавшимся, возможно, в чем-то не точным или не совсем верным схемам классификации.

Предложенные автором алгоритмы опробованы на многочисленных географических примерах (Тикунов, 1981б; Тикунов, Флоринский, 1981а, б; Вардомский, Тикунов, 1982; Колосов, Тикунов, 1984; Ковалев, Тикунов, 1985; Баюра, Тикунов, 1986; Крючков, Тикунов, 1987; Евдокимова, Солнцева, Тикунов, 1988; Вежник, Конечный, Тикунов, 1989; Батоян, Тикунов, 1990; Евсеев, Тикунов, 1990; и др.). В качестве одного из примеров рассмотрим типологию территории Кольского полуострова с целью выделения участков, пригодных для организации фоновых наблюдений (Красовская, Тикунов, 1990).

Известно, что некоторые полярные районы представляют интерес как фоновые, отражающие глобальные и региональные аспекты загрязнения природной среды. Для наблюдения за ними организуется сеть мониторинга состояния природной среды. Если наблюдения в импактных районах Заполярья уже начали осуществляться, хотя и без необходимой координации, в фоновых районах они практически отсутствуют либо носят эпизодический характер. Проведение фоновых мониторинга в Заполярье не только позволит получить своеобразные “точки отсчета” техногенных изменений в этих районах, но также даст ценный материал для контроля ряда глобальных изменений природной среды.

Важным моментом в организации системы фоновых наблюдений в Заполярье является правильный выбор районов для размещения станций мониторинга. Для этих целей может быть использован опыт проведения эколого-географических экспертиз (Географическое..., 1985). Следуя общим научно-методическим положениям проведения эколого-географических экспертиз при оценке возможных районов для организации станций фоновых мониторинга, мы учитывали в первую очередь влияние природной среды на объект (станцию фоновых наблюдений), а также воздействие на нее антропогенных факторов. Таким образом, выбору районов расположения сети станций фоновых наблюдений должна предшествовать комплексная оценка определенной совокупности природных и антропогенных факторов, способных влиять на результаты наблюдений.

Опыт ландшафтно-геохимических исследований, проведенных в Заполярье (Евсеев, 1986; Красовская и др., 1987), позволил выделить 9 наиболее значимых факторов, способных влиять на размещение станций фоновых наблюдений в этих районах. При учете этих факторов нами была предпринята попытка провести типологию территории Кольского полуострова, являющегося одним из наиболее

освоенных районов Российского Заполярья по степени пригодности для размещения станций фонового мониторинга природной среды. Эти факторы таковы: высота над уровнем моря, направление преобладающих ветров (для зимы и лета), скорость ветра (летняя и зимняя), годовое количество осадков, число дней с туманами, интенсивность хозяйственного освоения, коэффициент суммарного накопления техногенных элементов. Перечисленный набор факторов может быть расширен в зависимости от степени детальности исследований, а также доступности необходимых для этого данных. Рассмотрим подробнее каждый из перечисленных показателей.

Значимость высоты над уровнем моря определяется влиянием геоморфологических условий на характер накопления антропогенных загрязняющих веществ. Как правило, в горных районах с замкнутыми котловинами, закрытыми долинами и т.п. складываются благоприятные условия для повышения аккумуляции антропогенных загрязняющих веществ. Кроме того, наветренные склоны гор большой высоты могут накапливать повышенные количества антропогенных загрязнителей, высота атмосферного переноса которых в Заполярье ниже, чем в умеренных широтах. Размещение станций фоновых наблюдений в горных районах требует дополнительных исследований по выбору высоты расположения станции, экспозиции склона и т.п. Таким образом, при оценке перспективности крупного района для размещения станций фонового мониторинга горные территории являются осложняющим фактором для наблюдений.

Для территории Кольского полуострова характерно отсутствие высоких горных хребтов, средняя высота которых редко превышает 800 м над уровнем моря. Горные территории с наличием замкнутых котловин, закрытых долин и других неблагоприятных геоморфологических факторов расположены в центральной (Хибины, Монче, Чуна, Ловозерские тундры) и северо-западной частях полуострова. Данные о высоте над уровнем моря нами получены по Атласу Мурманской области (1971).

Совокупность метеорологических факторов позволяет оценить потенциал загрязнения атмосферы. Изучение направлений преобладающих ветров дает возможность оценки привноса техногенных элементов как от местных источников загрязнения, так и от удаленных от исследуемой территории на сотни километров. Для территории Кольского полуострова характерна сезонная смена направлений преобладающих ветров от зимы к лету. Для зимнего периода характерны ветры юго-западных румбов, для летнего — северо-восточных. Такая

направленность ветров обуславливает сезонную приуроченность поступления антропогенных загрязнителей в результате дальнего переноса к летнему периоду, вследствие прохождения воздушных масс над промышленно развитыми районами европейской части страны и Западной Европы. Отмеченная особенность направлений преобладающих ветров обуславливает субмеридиональный разнос антропогенных загрязнителей по Кольскому полуострову. В последующих расчетах использовались данные о направлении преобладающих ветров в градусной шкале.

Скорость ветра имеет значение при оценке интенсивности атмосферного переноса антропогенных загрязнителей. Высокие скорости ветра благоприятствуют интенсивному выносу атмосферных загрязнителей с территории, освобождая ее от избыточного осаждения техногенных элементов. Поэтому районы с преобладанием сильных ветров благоприятны для размещения станций фоновое мониторинга. Поскольку для Кольского полуострова типична диаметрально противоположная направленность ветров зимой и летом, в расчетах учитывались сезонное направление ветров и их скорость.

Поступление техногенных веществ из атмосферы происходит в результате сухого и влажного осаждения, что делает значимым фактор суммы выпадающих осадков, которая учтена в расчетах. Влажному осаждению антропогенных загрязнителей способствует наличие туманов. Поэтому в расчетах также использован годовой показатель повторяемости дней с туманами для различных районов Кольского полуострова в процентах. Перечисленные климатические показатели заимствованы из Справочника по климату СССР (1966) и Климатического атласа Арктики (1963).

Одними из самых распространенных загрязняющих веществ на Кольском полуострове являются тяжелые металлы. Поэтому для оценки уровня их накопления использован специальный коэффициент, предложенный А.В. Евсеевым (1986). Он основан на данных о концентрации тяжелых металлов в растениях-биоиндикаторах (*Cladina* sp.), использование которых перспективно в Заполярье (Евсеев и др., 1983). Сначала рассчитывался коэффициент местного накопления, представляющий собой отношение содержания элемента-загрязнителя в растении-биоиндикаторе к эталонному, определенному на основании большой выборки экспериментальных данных, а также литературных источников. Затем вычислялся коэффициент суммарного накопления, равный отношению суммы коэффициентов местного накопления к числу тестируемых антропогенных загрязнителей. Расчеты велись по 11 тяжелым металлам, среди

которых медь, никель, кобальт, цинк и др., представленные в условных единицах. Высокие показатели коэффициента суммарного накопления тяжелых металлов являются неблагоприятным фактором для размещения станций фонового мониторинга природной среды. Значимость этого показателя для организации фоновых наблюдений чрезвычайно высока.

Наибольшую трудность вызывает необходимость выбора объективной оценки интенсивности хозяйственного освоения территории Кольского полуострова, которая колеблется в широких пределах и не зависит от численности населения городов непосредственно. Восточные районы Кольского полуострова используются для выпаса оленей, охоты, рыболовства, в то время как западные и центральные испытывают сильное антропогенное воздействие в результате развития горнопромышленного комплекса. Экспедиционное изучение характера антропогенных изменений природной среды в результате различных видов хозяйственного использования на Кольском полуострове позволило разработать для его оценки пятибалльную шкалу. Наибольшие изменения природной среды обусловлены развитием горнопромышленных комплексов, в первую очередь крупных горно-металлургических, так как с ними нередко связано антропогенное опустынивание территории (интенсивность 5 баллов). Близкий результат наблюдается под влиянием крупных промышленных городов, например, Мурманска. Несколько менее интенсивно влияние апатито-нефелинового горнопромышленного комплекса, оцененное в 4 балла. В третью группу включены районы с лесобработывающей и пищевой промышленностью, крупные транспортные узлы и энергетические центры. К четвертой группе отнесены районы с наличием лесозаготовок, выпасом оленей (2 балла). Пятая группа — неиспользуемые территории (1 балл).

Для целей природно-хозяйственных классификаций используются данные, приуроченные как к сетке административно-территориального деления, так и к природным контурам, например речным бассейнам и т.п. Недостатки таких методик очевидны. Применяются также регулярные решетки и другие искусственно конструируемые сети (Кошкарёв, Каракин, 1987), одна из которых, а именно сеть с квадратными ячейками, применялась нами для природно-хозяйственной типологии Мурманской области. Сторона квадрата соответствовала на местности 60 км и выбиралась с учетом детальности исходных данных. Таким образом, всю территорию Кольского полуострова покрывает 76 квадратов.

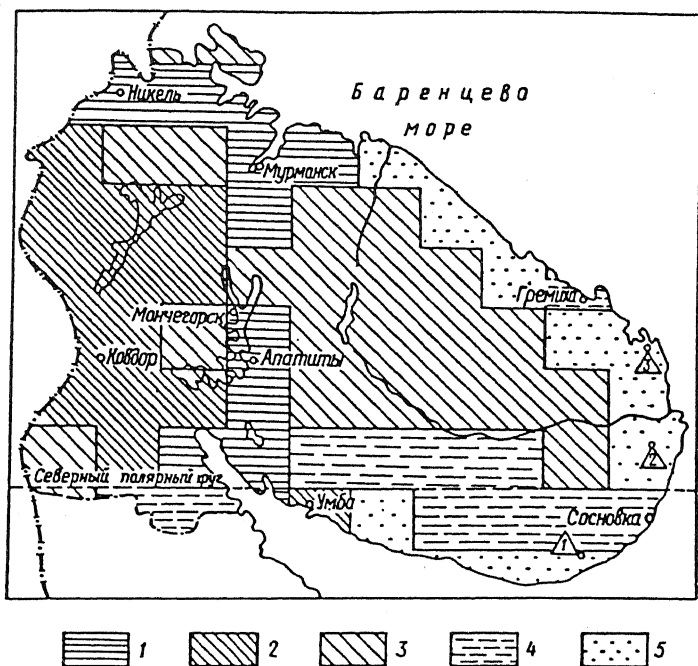
В пределах каждого квадрата подсчитывались осредненные характеристики перечисленных выше показателей. Оказалось так, что

по 5 показателям в нескольких ячейках сетки данные отсутствовали. Это потребовало их восстановления формальным путем. Раздельно для каждого показателя во всех квадратах сети экстраполировалась статистическая поверхность на основе известных характеристик соответствующих показателей. Для этих целей использовался алгоритм пространственной регрессии — аппроксимации (см. параграф II.1.2). В данном случае использовалась аппроксимация на основе ортогональных полиномов П.Л. Чебышева, позволившая получить приемлемые с содержательной точки зрения результаты.

Восстановив отсутствующие данные, был сформирован массив, размерность которого определялась числом квадратов регулярной сети (76) и количеством показателей (9). На основании данной матрицы можно произвести классификацию по изложенному выше алгоритму. Количество таксонов в процессе многовариантной классификации варьировало от 15 до 2, что задавалось $\text{arg}101$. В качестве математических мер близости использовались евклидовы расстояния и коэффициенты корреляции. Лучшие результаты дало применение меры в виде $1 - r$, где r — парные коэффициенты корреляции. Характер изменения коэффициентов неоднородности и содержательный анализ полученного спектра вариантов типологии позволили в качестве окончательного варианта взять классификацию, приведенную на рис. 14. Для содержательной характеристики таксонов вычислялись также среднеарифметические значения исходных показателей по каждому из них.

Результатом явилось выделение 5 групп квадратов, различающихся по значимости для организации фоновых наблюдений. Первая группа квадратов характеризуется незначительной средней высотой над уровнем моря (136 м), однако для них типично развитие невысоких хребтов-гунтури со средними высотами 300–600 м* над уровнем моря, чередующихся с холмистыми равнинами. Для этой группы характерны невысокие средние скорости ветра (4,8 м/с) юго-западных и северо-восточных румбов. Среднее количество выпадающих осадков достаточно высокое — 494 мм, часто повторяются дни с туманами (около 25% в год). Интенсивность хозяйственного освоения достигает 5 баллов, значения суммарного коэффициента накопления тяжелых металлов очень высокие (21,3).

* Заметим, что приводимые при характеристике групп числовые значения исходных показателей получены как среднеарифметические характеристики, отражающие некоторую их вариацию, и поэтому легко могут быть заменены близкими к ним “круглыми” значениями.



△ Районы размещения станции фоновго мониторинга

Рис. 14. Природно-хозяйственная типология Кольского полуострова. Типы территории 1-5 описаны в тексте

Вторую группу квадратов характеризует более значительная высота над уровнем моря — 219 м. Это область преимущественного развития грядово-холмистого рельефа с участками горного в Заимандровском районе со средними высотами 600-700 м. Для этой территории, большая часть которой расположена во внутренних районах Кольского полуострова, характерны слабые ветры (2,7 м/с) преимущественно северо-западных румбов, умеренное количество выпадающих осадков (451 мм), относительно низкое число дней с туманами (около 20%), незначительное хозяйственное использование, за исключением района Умбы, где оно оценено в 3 балла. Значения суммарного коэффициента накопления тяжелых металлов ниже, чем в первой группе квадратов, и составляют 4,2.

В третью группу квадратов вошли территории со средними высотами 314 м, что выше, чем для всех остальных групп. Для рельефа этой территории характерно преобладание вытянутых грядами хребтов-тунгури с проявлением высотной дифференциации ландшафтов, а также низкорельефных концентрических интрузивных мас-

сивов (Ловозерские тундры, Хибины). Средние скорости ветра невелики — 3,8 м/с. Преобладают ветры северных и юго-западных румбов. Количество осадков 421 мм, однако число дней с туманами достигает 50% в год. Эта территория, за исключением западных районов и части Хибин, практически не используется. Коэффициент суммарного накопления тяжелых металлов еще ниже, чем в предыдущей группе, и составляет 3,4.

В четвертую группу квадратов включены холмистые равнинные территории со средней высотой 186 м над уровнем моря, близким к умеренным скоростям ветра (4,5 м/с), высоким количеством выпадающих осадков (588 мм), значительным числом дней с туманами (38%). Для этой группы квадратов характерно слабое хозяйственное использование — выпас оленей, рыболовство, охота и т.п. Коэффициент суммарного накопления тяжелых металлов низок (3,0).

Пятая группа квадратов также характеризуется равнинным характером. Для северной ее части типичны невысоко приподнятые денудационные равнины, расчлененные фиордами. В южной части появляются фрагменты низменных аккумулятивных равнин. Средние высоты всей территории 129 м. Для этой группы квадратов характерны преобладание сильных ветров северных и северо-западных румбов, достаточно большое количество осадков (440 мм), высокий процент дней с туманами (43%). Хозяйственное использование территории практически отсутствует. Значения коэффициента суммарного накопления тяжелых металлов самые низкие для изучаемого района (1,7).

После проведения типологии территории встала задача выбора наиболее подходящего для организации фоновых наблюдений квадрата сетки. Для этого нами разработана следующая методика. Из пяти типологических групп (см. рис. 14) выбрана наиболее подходящая, что не составило труда сделать, используя среднеарифметические значения исходных показателей, характеризующих типы. Ею оказалась пятая группа (северо-восточная часть Мурманского и Терского берегов), в пределах которой предстояло выбрать наиболее подходящий квадрат. Если поставить условие: найти наиболее подходящий квадрат, то им будет так называемое ядро, вокруг которого формировался данный таксон при описанной выше многовариантной процедуре типологии.

Данный квадрат на рис. 14 отмечен треугольником с номером 1. Однако этот квадрат оказался южнее Полярного круга, что не соответствовало нашим целям. Поэтому для рассмотрения других воз-

можных вариантов определены еще два квадрата, наиболее близкие к ядру, что определяется по минимальности меры $1 - r$ между ядром и всеми входящими в данный таксон квадратами. Эти квадраты также отмечены треугольниками 2 (район устья р. Поной) и 3 (район м. Орловского) (см. рис. 14).

Оценивая последние два квадрата, расположенные за Полярным кругом, с экономических позиций, следует отметить, что в устье Поной в настоящее время отсутствуют населенные пункты, и организация станции фоновых наблюдений потребует больших капитальных затрат на обеспечение энергоснабжением и связью. Более перспективным с этих позиций является район м. Орловского, где есть метеостанция, а также выбранный на основе экспедиционных исследований район д. Сосновки, расположенный к югу от устья Поной. В этих районах имеется дизельное энергоснабжение. Сосновка имеет хорошую транспортную связь с Мурманском.

Проведенная типология позволила с достаточной степенью детальности проанализировать пригодность всей территории Кольского полуострова для проведения фоновых наблюдений и определить место для расположения станций мониторинга, что невозможно было сделать в полной мере, используя только данные экспедиционных исследований. Поскольку между характером накопления антропогенных загрязнителей в ландшафтах Кольского полуострова существует достаточно высокая зависимость, проведенная типология территории дает необходимые сведения для размещения станций фоновых наблюдений по ряду других типичных загрязняющих веществ.

II.2.3. Моделирование оценочных синтетических характеристик

Построение моделей, ориентированных на моделирование оценочных синтетических карт, как уже было отмечено раньше, осуществляется при условии гомогенности территориальных единиц, формирующих таксоны, которые должны быть иерархически упорядочены между собой. Алгоритм в трех его модификациях разработан автором (Тикунов, 1985а) с учетом поставленного условия. Кроме того, алгоритм позволяет получать синтетические характеристики оценочного положения территориальных единиц по единой шкале и ранжировать данные территориальные единицы на основе этих оценок. Суть алгоритма такова. Все территориальные единицы характеризуются наборами показателей, которые прежде всего следует

нормировать, для чего, в случае создания оценочных карт, удобно использовать формулу

$$\hat{x}_{ij} = \frac{|x_{ij} - \overset{\circ}{x}_j|}{|\max/\min x_j - \overset{\circ}{x}_j|}, \quad \begin{matrix} i = 1, 2, 3, \dots, n, \\ j = 1, 2, 3, \dots, m, \end{matrix} \quad (2.30)$$

где n — количество территориальных единиц; m — количество показателей (x_{ij}); $\overset{\circ}{x}$ — наилучшие (или наихудшие) для каждого показателя оценочные значения (например, наиболее благоприятные для целей строительства, сельского хозяйства и других климатических характеристик, величины углов наклона местности и т.д.); $\max/\min x$ — экстремальные значения показателей, наиболее отличающиеся от величин $\overset{\circ}{x}$:

$$\begin{aligned} \max/\min x &\equiv \min x, \text{ если } |\min x - \overset{\circ}{x}| > |\max x - \overset{\circ}{x}|, \\ \max/\min x &\equiv \max x, \text{ если } |\min x - \overset{\circ}{x}| \leq |\max x - \overset{\circ}{x}|. \end{aligned} \quad (2.31)$$

Данная нормировка дает возможность выразить отклонения всей системы показателей от наилучших или наихудших оценочных значений и тем самым правильнее с содержательных позиций их соизмерить между собой.

Нормировка, кроме того, позволяет установить количественные соотношения между значениями оценочных характеристик для исходных территориальных единиц или для выделяемых в последующем таксонов. В этом случае, если рассматривать нормированные показатели как приведенные к своеобразной соизмеримой форме, возможно находить их суммарные значения:

$$S_i = \sum_{j=1}^m \frac{|x_{ij} - \overset{\circ}{x}_j|}{|\max/\min x_j - \overset{\circ}{x}_j|}, \quad \begin{matrix} i = 1, 2, 3, \dots, n, \\ j = 1, 2, 3, \dots, m. \end{matrix} \quad (2.32)$$

Такие величины приблизительно характеризуют оценочное положение территориальных единиц за счет того, что чем сильнее их показатели отличаются от наилучших значений ($\overset{\circ}{x}$), тем величина S_i будет больше. Величина S_i может быть равна нулю, если весь комплекс показателей территориальной единицы совпадает с наилучшими значениями, и S_i будет равна m , если этот комплекс по всем показателям будет максимально отличаться от $\overset{\circ}{x}_j$. Чем больше величина S_i , когда $\overset{\circ}{x}_j$ задана наилучшими значениями, тем хуже синтетическая оценочная характеристика у соответствующей территории.

альной единицы (и наоборот для наихудших значений). Средние для таксонов величины S_i позволяют дать им качественные характеристики оценки, например, как очень плохие, плохие, хорошие и т.д., а также количественно, хотя и в грубой форме, их сопоставлять между собой. При наличии обоснованных “весов” каждого показателя их также можно ввести в формулу нормировки, примеры чего можно найти в работах (Евсеев, Тикунов, Цирд, 1991; Красовская, Тикунов, 1993).

Следующий этап, аналогично с типологическим алгоритмом, связан с выбором мер различия между территориальными единицами. Напомним, что если рассчитать меры различия в многомерном признаковом пространстве между всеми точками, символизирующими территориальные единицы, то получим матрицу D ($n \times n$). Однако с целью ранжирования территориальных единиц по шкале их интегрального оценочного положения вместо расчета всей матрицы D достаточно вычислить лишь один вектор для условной территориальной единицы, комплекс показателей у которой является вектором x_j (см. формулу (2.25)). Этот вектор различий (d°) показывает степень удаленности (близости) всех реальных территориальных единиц от условной, имеющей наилучшие или наихудшие оценочные условия (\dot{x}). Возможны и другие пути получения вектора d° . В качестве него можно использовать соответствующий столбец матрицы D , относящийся к реальной территориальной единице, имеющей самое высокое или самое низкое оценочное положение, что определяется экспертным путем или на основе значений S_i (см. формулу (2.32)). Таким образом, уже получение вектора d° позволяет установить количественные соотношения в оценочном положении территориальных единиц, что иногда ставится в географии как самостоятельная задача.

Для выделения таксонов достаточно лишь разделить на однородные группы предварительно ранжированные по возрастанию значения вектора d° и тем самым распределить по таксонам исходные территориальные единицы. Для этих целей предложены три модификации алгоритма (Тикунов, 1985а). В первом случае прежде всего вычисляются приращения последующих ранжированных значений вектора оценочных характеристик d° над предыдущими. Из набора ($n - 1$) приращений находится минимальное, и связываемые им территориальные единицы объединяются в один таксон. Данное приращение из дальнейшего анализа исключается и отыскивается новое минимальное приращение, которое позволяет сгруппировать еще две территориальные единицы и т.д. до тех пор, пока все терри-

ториальные единицы не сольются в одну группу. Вполне естественно, что если минимальным оказывается приращение, связывающее две территориальные единицы, уже ранее объединенные с их соседями в ранжированном ряду, то они все вместе группируются в один таксон. При такой процедуре классификации все территориальные единицы не теряют своих индивидуальных черт в процессе поэтапного образования таксонов, которые оказываются иерархически упорядоченными между собой, что и требуется для создания оценочных карт.

Анализируя иерархическое оценочное положение различных явлений, прежде всего социально-экономических (уровней социально-экономического развития стран, степени развития промышленных комплексов, качества жизни населения и др.), приходится сталкиваться с большими относительными различиями в характеристиках наиболее высоко оцениваемых территориальных единиц и с нивелировкой различий для низко оцениваемых единиц (составляющих зачастую большую часть их общей совокупности). Такое положение, как замечено в работе (Росин, Тихунов, 1982), можно образно представить, если рассматривать высоко оцениваемые территориальные единицы как горную страну, а низко оцениваемые — как низменность. В первом случае точки будут иметь весьма высокие значения абсолютных высот и при этом местность будет характеризоваться большой расчлененностью по относительным высотам: во втором — имеем низкие значения абсолютных высот и отсутствие каких-либо резких высотных перепадов. Поэтому формальное использование алгоритма может приводить к вычленению малочисленных (или даже единичных) групп среди территориальных единиц с высоким оценочным положением при объединении в один таксон большого числа единиц с низкими оценочными характеристиками. Такой результат соответствует реальному положению дел. Однако, чтобы не представлять большую группу территориальных единиц “выглядящими на одно лицо” и при этом не дробить единицы с высокими оценками на малочисленные таксоны, возможны, по крайней мере, два пути. Первый — повторная отдельная классификация высоко и низко оцениваемых территориальных единиц, разграниченных на первом этапе расчетов, ведущая к тому, что уровни членения территориальных единиц на таксоны будут различны, или же предварительная обработка вектора d^o (например, его логарифмирование и др.). Другой путь может быть связан со следующими модификациями алгоритма.

Во второй модификации алгоритма, так же как и в выше описанной первой, из набора $(n - 1)$ приращений находится минимальное, и

связываемые им территориальные единицы объединяются в один таксон. Данное приращение из дальнейшего анализа исключается, а индивидуальные оценочные характеристики двух объединенных территориальных единиц заменяются одинаковыми осредненными оценочными характеристиками, которые вычисляются как среднеарифметические величины из двух исходных значений вектора d° . Два приращения, связывающие объединенные территориальные единицы с их соседями, заменяются на вновь вычисленные с учетом новых осредненных оценочных характеристик. Далее из набора $(n - 2)$ приращений отыскивается минимальное, и связываемые им территориальные единицы группируются в один таксон. Вновь производится осреднение их значений и т.д. до тех пор, пока все территориальные единицы не сольются в одну группу.

Вполне естественно, что если минимальным оказывается приращение, связывающее две территориальные единицы, уже ранее объединенные с их соседями в ранжированном ряду, то они все вместе группируются в один таксон, и всем им присваивается одно осредненное значение оценочных характеристик. В случае равенства двух или более приращений в разных частях ранжированного ряда, оказавшихся минимальными на каком-то из этапов процедуры, очередность их выбора безразлична, и может быть задан приоритет отбора приращений с начала или с конца ряда.

Для третьей модификации алгоритма воспользуемся процедурой группировки, ранее разработанной автором для выделения интервалов шкал тематических карт (Тихунов, 1980а). В этом случае процедура группировки такова. Прежде всего элементы вектора d° ранжируются по возрастанию их значений. После этого приращение значений последующих единиц над предыдущими (Δ) в ранжированном ряду нормируются:

$$\hat{\Delta}_i = \frac{\Delta_i}{\bar{\Delta}}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n - 1, \quad (2.33)$$

где $\bar{\Delta} = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} \Delta_i}{n}$. Так как сумма всех нормированных приращений получается равной n , то средняя доля приращений, как бы приходящаяся на одну территориальную единицу ранжированного ряда, будет равна единице.

Далее, для того чтобы разбиение ранжированного ряда на группы зависело не только от величины приращений, но и от количества территориальных единиц, объединяемых в таксон, введем понятие веса точек ряда. Поскольку первоначально все приращения как бы

связывают между собой по две соседние в ранжированном ряду территориальные единицы, то приращения умножаются на 2. Из вычисленного таким образом набора приращений выбирается минимальное, и две связываемые им единицы ранжированного ряда группируются в один таксон.

Иными словами, на первом этапе как бы получается $(n - 1)$ -группа. Приращения (Δ) между этими двумя объединенными единицами и их соседями справа и слева в ранжированном ряду умножаются на 3, так как они отражают взаимосвязь уже между тремя территориальными единицами. Приращения между единицами, объединенными в один таксон, в дальнейшей процедуре не учитываются. Далее вновь выбирается уже из оставшихся приращений минимальное, и соответствующие единицы группируются в один таксон. Таким образом, процедура продолжается до тех пор, пока все территориальные единицы не сольются в одну группу.

В тех случаях при реализации алгоритма, когда рядом оказываются две группы, уже объединившие по нескольку территориальных единиц, граничное приращение между ними, естественно, умножается на количество единиц в двух таксонах. Такое применение “веса” позволяет учитывать не только величины разрывов между характеристиками территориальных единиц ранжированного ряда, но и количество единиц, объединяемых в таксоны. При равенстве двух или более приращений в разных частях ранжированного ряда, оказавшихся минимальными на каком-то из этапов процедуры, очередность их выбора определяется так же, как во второй разновидности алгоритма. Заметим, что все три модификации могут базироваться на использовании величин S_i (см. формулу (2.32)) в качестве вектора d° .

Оценочное положение таксонов может количественно характеризоваться средними значениями вектора d° или, как было указано выше, S_i . Число образованных таксонов в процессе группировки варьирует от общего количества изучаемых территориальных единиц (n) до 1. Однако при реализации алгоритма на ЭВМ спектр вариантов, которые целесообразно выдавать на печать, можно заранее ограничить как сверху (t_{\max}), так и снизу (t_{\min}). Количественные значения t_{\max} и t_{\min} определяются исходя из содержательных особенностей классифицируемых географических явлений. Спектр вариантов группировки анализируется на основе абсолютного и относительного коэффициентов неоднородности (см. формулы (2.28) и (2.29)). Аналогично с типологическим алгоритмом, анализ полученных результатов удобно производить по среднеарифметическим зна-

чениям каждого показателя относительно всех территориальных единиц, входящих в тот или иной таксон.

Разработанные автором разновидности алгоритма могут реализоваться не только в автоматическом режиме, но и “с учителем”. Если при использовании методов автоматической классификации группировка территориальных единиц производится лишь на основе наборов данных о их свойствах, то во втором случае дополнительно требуется заранее указать принадлежность некоторых территориальных единиц к разным таксонам. Каждый таксон может быть представлен некоторым не лимитированным количеством территориальных единиц или же всего одной единицей, набор которых представляет обучающую совокупность. На основе обучающей совокупности для характеристики каждого из g таксонов вычисляется g эталонов — условных территориальных единиц со средними комплексами показателей в пределах каждого таксона. Совокупность, состоящая из g эталонов, классифицируется по любой модификации выше описанного (автоматического) алгоритма на t_{\max} , $t_{\max} - 1$, $t_{\max} - 2$, ..., t_{\min} групп. Заметим, что t_{\max} может быть равно g , тогда в каждую группу, естественно будет входить всего лишь по одному эталону ($t_{\max} \leq g$). Проведя осреднение на более высоком уровне уже в пределах групп (при $t_{\max} \div t_{\min}$), получаем эталоны второго порядка, относительно которых по минимальности характеристик, выбранной меры различия (например, евклидовых расстояний) все реальные территориальные единицы распределяются между данными эталонами. В результате получается спектр вариантов классификации с числом таксонов, варьирующим от t_{\max} до t_{\min} , из которых на основе коэффициентов неоднородности выбирается один окончательный.

Практическая реализация алгоритма иллюстрирована примером по определению уровней социально-экономического развития 80 стран Азии, Африки, Латинской Америки и Океании. Статистический материал для эксперимента заимствован из работы (Смирнягин, Тикунов, Фетисов, 1982). Реализовав три модификации алгоритма на основе всего комплекса из 30 показателей, проведены ранжирование стран и их разделение на оценочные группы. В качестве значений x (см. формулу (2.30)) при нормировке показателей использовались соответствующие характеристики США, как наиболее высокоразвитой страны по отношению ко всем развивающимся странам, включенным в анализ. Приведем все три полученных результата в виде ранжированного списка стран с указанием

характеристик вектора d° и рубежей оценочных групп (отмечены различными линиями в зависимости от варианта модификации алгоритма)*:

1. Сингапур-6.631	26. Сальвадор-11.652	52. Заир-14.301
..... 1	27. Ирак-11.927	53. Ангола-14.314
2. Кувейт-7.155	28. Доминиканская	54. Гаити-14.349
..... 1	Республика-11.938	55. Бирма-14.353
3. Аргентина-7.660	29. Сирия-11.985	56. Кения-14.463
4. Уругвай-8.050	30. Филиппины-12.012	57. Камерун-14.532
..... 1	31. Алжир-12.140	58. Судан-14.601
----- 2		
----- 3		
5. Тринидад и	32. Гватемала-12.259	59. Сьерра-Леоне-14.658
Тобаго-8.817	33. Иордания-12.276	60. Мадагаскар-14.734
6. Венесуэла-8.898	34. Шри-Ланка-12.278	61. Мозамбик-14.825
7. Ливан-8.940	----- 2	62. Того-14.983
..... 1	35. Саудовская	63. Центральноеафрикан-
8. Мексика-9.369	Аравия-12.563	ская Республика-14.984
9. Чили-9.390	36. Марокко-12.638	64. Сомали-15.000
10. Южная Корея-9.540	37. Боливия-12.660	65. Бенин-15.020
11. Бразилия-9.882	38. Гондурас-12.816	66. Афганистан-15.051
12. Ямайка-9.941	39. Таиланд-13.073	67. Танзания-15.065
13. Коста-Рика-10.020	40. Индия-13.169	68. Мавритания-15.082
..... 1	41. Замбия-13.263	69. Непал-15.117
----- 2		
----- 3		
14. Колумбия-10.601	42. Пакистан-13.268	70. ЙАР-15.212
15. Ливия-10.619 1	71. Уганда-15.237
	----- 2	
	----- 3	
16. Панама-10.736	43. Индонезия-13.691	72. Малави-15.262
17. Перу-10.792	44. Конго-13.700	----- 2
18. Иран-11.062	45. Гана-13.850	73. Бурунди-15.568
19. Турция-11.218	46. Нигерия-13.994	74. Бангладеш-15.582
20. Никарагуа-11.380	47. Берег Слоновой	75. Мали-15.669
21. Малайзия-11.381	Кости-14.018	76. Верхняя Вольта-15.963
22. Тунис-11.466	48. НДРЙ-14.018	77. Эфиопия-15.987
23. Египет-11.571	49. Сенегал-14.039	78. Чад-16.023
24. Эквадор-11.584	50. Либерия-14.081	79. Руанда-16.043
25. Парагвай-11.633	51. Папуа-Новая	80. Нигер-16.113
	Гвинея-14.207	

Расчеты для выбора рубежей оценочных групп производились при интервале $t_{\max} \div t_{\min}$ от 15 до 2, и окончательные варианты выбирались на основе коэффициентов неоднородности.

Анализ группировок стран показывает, что большая их часть образует жесткие блоки, не изменяющиеся в зависимости от модификации алгоритма. Другие страны перемещаются из группы в

* Ранжирование стран производилось на основе вектора d° , вычисленного относительно показателей США, как было объяснено выше.

группу, и их анализ наиболее интересен. Заметим, что для содержательного анализа результатов мы считаем предпочтительным представлять варианты классификаций в виде карт, а не списков, таблиц и т.д. Это дополнительно позволяет анализировать пространственные закономерности в распределении групп стран. В случае их списочного представления одновременное пространственное восприятие группировок затруднено и приводит к необходимости мысленного пространственного координирования. Поэтому приведем хотя бы один результат классификации стран в виде карты (рис. 15), что дает возможность сравнить ее со списочным представлением группировки стран.

Обработывая методику многомерных классификаций, следует также заострить внимание на проблеме “взвешивания” показателей. Произведя классификацию стран, мы используем все показатели как равнозначные, хотя на самом деле это далеко не так, что легко показать, проведя, например, такой эксперимент. Можно ранжировать страны, последовательно исключая по одному показателю из всей их системы. Так как количество показателей равно 30, то было получено соответствующее число ранжировок. Сравнивая их с результатом расчетов, базировавшихся на основе всей системы показателей, можно выявить из них те, которые формально мало или же вовсе не оказывают влияния на ранжирование стран. Для этого удобно подсчитать суммы различий порядковых номеров стран в сравниваемых ранжировках, а также простое количество несовпадений номеров стран. Такой анализ свидетельствует о необходимости дальнейшего совершенствования системы показателей и выработке для них обоснованных “весов”. Однако это весьма сложная задача, к решению которой географы лишь только приступают. Заметим, что эксперименты по взвешиванию исходных показателей дают как положительные (Евсеев, Тикунов, Цирд, 1991; Красовская, Тикунов, 1993), так и отрицательные (Карпович, Тикунов, Январева, 1993) результаты.

Описанные алгоритмы очень вариабельны, и, чтобы показать хотя бы некоторые возможности этого плана, а также проиллюстрировать неудачный опыт “взвешивания” показателей, мы вынуждены обратиться к еще одному примеру оценки воздействия сельского хозяйства на природную среду (Карпович, Тикунов, Январева, 1993). Здесь же следует отметить разнообразие подходов к применению оценочных алгоритмов в различных исследованиях (Сиголаева, Тикунов, 1986; Суетова, Тикунов, 1989, 1991; Евсеев, Тикунов, Цирд, 1991; Неронов, Малхазова, Тикунов, 1991; Тикунов, Январева, Лищенко, 1991; Красовская, Тикунов, 1993).

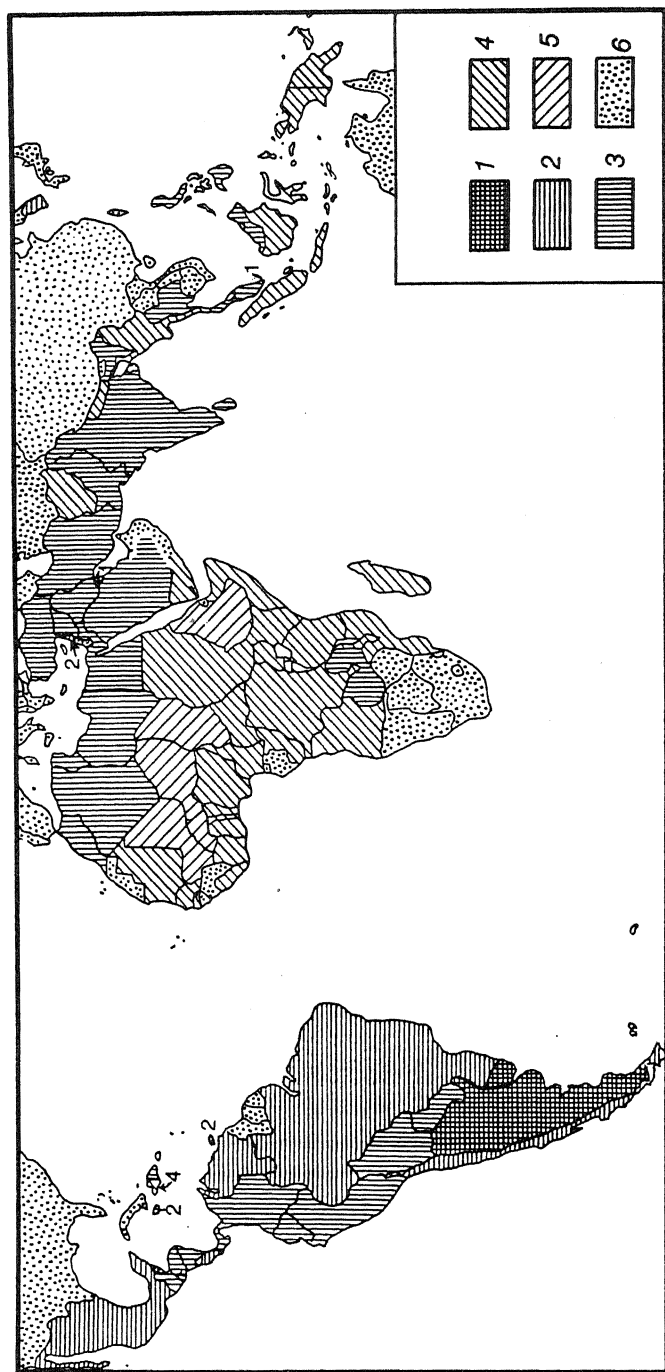


Рис. 15. Результат классификации стран на оценочные группы при использовании третьей модификации алгоритма. Группировка стран по уровню развития: 1 — наивысший; 2 — высокий; 3 — средний; 4 — низкий; 5 — самый низкий; 6 — страны, не включенные в анализ

В настоящее время существует ряд методик оценок воздействия сельского хозяйства на природную среду (Влияние..., 1986). Однако до сих пор нет однозначности в понимании и определении самого понятия “экологическая оценка”, содержания, видов и показателей оценок. Естественно, что нет и универсальной методики экологической оценки, поскольку сам оцениваемый объект многосторонен и существует много критериев, с позиций которых можно оценить разные стороны изучаемого объекта. В данном эксперименте опробован один из вариантов экологической оценки воздействия сельского хозяйства на природную среду.

В результате изучения звеньев сложного многофакторного процесса влияния сельскохозяйственной деятельности человека на природу встает задача интегральной экологической оценки этого влияния. Она должна базироваться на анализе большого числа разнообразных по содержанию и форме представления показателей, а с другой стороны, определяться оптимальностью отбора показателей. В данной работе мы ограничились лишь самыми важными из них для конкретного изучаемого района — территории Калмыкии. Выбор показателей обуславливался особенностями экономико- и физико-географического развития Калмыкии. Этот район уникален в сельскохозяйственном отношении. Здесь на относительно небольшой территории представлены основные отрасли сельского хозяйства: западная часть — интенсивное земледелие, восточная — животноводство. Для интегральной оценки воздействия сельскохозяйственного производства на окружающую среду, учитывая специфику территории, нами использовались следующие исходные показатели: коэффициент эрозионной опасности сельскохозяйственных культур; засоление почв; количество вносимых в почву удобрений — азотных и фосфорных; пастбищная нагрузка.

Состав, размещение и чередование культур во многом характеризуют степень влияния сельского хозяйства на природную среду. Способы возделывания сельскохозяйственных культур (культуры пропашные, сплошного сева) определяют, насколько не защищена поверхность почвы и может быть подвергнута водной и ветровой эрозии. Это один из первостепенных факторов влияния сельского хозяйства на природную среду в западной интенсивно земледельчески освоенной части Калмыкии. Поэтому одним из показателей был коэффициент эрозионной опасности сельскохозяйственных культур, который рассчитывался для каждого пахотного угодья, а потом оценивался с экологической точки зрения по методике, описанной в работе (Жаркова, Ларионов, 1986). Вторым значащим фактором

является внесение удобрений — азотных и фосфорных (калий здесь не применяется), используемых для компенсации вынесенных эрозийными процессами и культурными растениями питательных веществ. С ними связана проблема загрязнения окружающей среды и продукции земледелия прежде всего нитратами, которые, попадая в организм человека, образуют высокотоксичные вещества. Применение фосфорных удобрений приводит к накоплению в почвах других элементов (фтора, стронция, урана).

Практикующиеся в восточной части Калмыкии системы животноводства таковы, что пастбища подвергаются дигрессии. В результате ухудшаются почвозащитные свойства, что приводит к развитию эрозийных процессов. Поэтому для интегральной экологической оценки использовался показатель пастбищной нагрузки, который также предварительно оценивался с экологической точки зрения. Этот показатель рассчитывался по методике определения экологически допустимых пастбищных нагрузок (Копыл, 1987). Расчеты производились для различных видов выпасаемого скота (овец и крупного рогатого), для пастбищ различных стадий дигрессии, отличающихся как урожайностью, так и качеством кормов. Экологически допустимые нагрузки сравнивались с фактическими. Это соотношение и применялось для расчета интегральной экологической оценки. Усугубляет экологическое состояние природной среды также и ряд природных факторов — активно протекающие здесь засоление и дефляция. Другие факторы, касающиеся системы земледелия, например применение пестицидов, в данном регионе не существенны.

Все вышеохарактеризованные показатели на первом этапе работы рассматривались как равнозначные, без учета степени их влияния на конечный показатель интегральной оценки, которую можно задать системой “весов” в процессе классификации. Для машинной обработки показатели считывались с исходных карт по сетке, размер ячеек которой изменялся в зависимости от пространственной однородности исходных данных. Методика построения таких сетей хорошо разработана и известна под названием квадратомиического дерева Mark, Lauzon, 1984; Samet et al., 1986; Samet, 1990; и др.). Так, вначале вся исследуемая территория на исходной карте была разбита на крупные квадраты, которые рекурсивно подразделяются на более мелкие ячейки до тех пор, пока каждая из них не будет содержать однородные данные. Все показатели для последующих математических расчетов приводились к данной сетке. Количество ячеек оказалось равным 1018.

Для получения интегральных оценок уровней влияния сельского хозяйства на окружающую среду использовался описанный выше оценочный алгоритм. Путем сравнения показателей всех ячеек с условной единицей, характеризуемой значениями \bar{x} , произведено ранжирование ячеек по уровню сельскохозяйственного воздействия. Ранжировка осуществлялась с использованием евклидовых расстояний как меры близости ячеек к условной единице, имеющей наихудшие значения (\bar{x}) по всему комплексу показателей. После вычисления евклидовых расстояний их значения относились к центрам соответствующих ячеек, и по этим значениям интерполировались изолинии. С точки зрения содержания полученную систему изолиний можно трактовать как “рельеф” условной поверхности, отображающей пространственную вариацию сельскохозяйственного воздействия на окружающую среду. Содержательный анализ созданной карты привел нас к выводу о ее неудовлетворительности, что выражалось в размытости и нечеткости картины воздействий сельского хозяйства на природную среду в восточной и западной частях Калмыкии. Объяснить это можно тем, что расчеты для столь различных территорий, для которых значимость разных показателей не одинакова, видимо, следует вести раздельно. Так, для западной земледельчески освоенной зоны прежде всего важны коэффициент эрозионной опасности сельскохозяйственных культур и количество внесенных удобрений. В восточной зоне, где профилирует животноводство, определяющими показателями являются нагрузки на пастбища и засоление.

Поэтому для продолжения эксперимента использовалось выделение однородных в оценочном отношении групп ячеек. Оказалось, что все три использованные нами модификации алгоритма одинаково точно отделяют западную часть Калмыкии от восточной. Более того, замена евклидовых расстояний на другие меры сходства приводит к такому же образованию четкого рубежа, а вот внутри выделяемых двух частей картина лишь ухудшается, поэтому во всех последующих расчетах нами использовались евклидовы расстояния. Основным же вывод, который был сделан после этого этапа работ, заключался в необходимости разделения в последующих расчетах территории Калмыкии на две части, по четко выделяемому рубежу, что в дальнейшем себя полностью оправдало, т.е. было произведено как бы предварительное районирование территории, с последующими вычислениями для двух частей порознь.

После этого для западной части, как более освоенной в сельскохозяйственном отношении и мелкоконтурной, была взята мелкая

сеть ячеек, показанных на рис. 16 слева от утолщенной разделительной линии, а для восточной части размер ячеек был значительно укрупнен по сравнению с первоначальным вариантом (см. рис. 16). В итоге в западной части получилось 266 квадратов, а в восточной — 176.

Повторение всей цепочки расчетов отдельно для западной и восточной частей позволило вычислить теперь уже два набора евклидовых расстояний, служащих мерой степени сельскохозяйственного воздействия на окружающую среду. Причем заметим, что значения евклидовых расстояний (d°), для упрощения их сравнения между двумя частями территории, перед тем как они были отнесены к центрам соответствующих ячеек и на их основе интерполировались изолинии, были предварительно нормированы по формуле

$$\hat{d}_i^\circ = \frac{d_i^\circ - \min d^\circ}{\max d^\circ - \min d^\circ}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n, \quad (2.34)$$

что делает их варьирующими от нуля до единицы. Условная статистическая “поверхность” оценок воздействия сельского хозяйства на окружающую среду представлена на рис. 17. В этом случае получилось так, что системы изолиний западной и восточной частей легко стыкуются вместе, поэтому они и показаны как единое целое на данном рисунке.

Отметим, что этим этапом расчетов наш эксперимент не ограничился. Попытки укрупнения ячеек в западной части резко ухудшили результат, а использование более мелких для восточной части не дает никакой новой информации. Наконец, последний эксперимент с попыткой взвешивания исходных показателей для последующей классификации. Значимость показателей определялась экспертным путем. Для этого было опрошено 7 специалистов, знающих исследуемую территорию и особенности ведения сельского хозяйства на ней. Оценки производились по 100-балльной шкале, после чего они по каждому показателю осреднялись и использовались как “веса” в процессе нормировки. Умножив нормированные по формуле (2.30) значения x на соответствующие “веса”, вычислялись новые евклидовы расстояния как меры степени сельскохозяйственного воздействия на окружающую среду. Использование “весов” ухудшило конечный результат, что мы смогли объяснить лишь значительной неоднородностью в экспертных оценках, данных разными специалистами, и сложностью самого явления. Если же не осреднять “веса”, а использовать их по отдельности, повторяя расчеты по числу принявших в эксперименте экспертов, то и это не улучшает результатов,

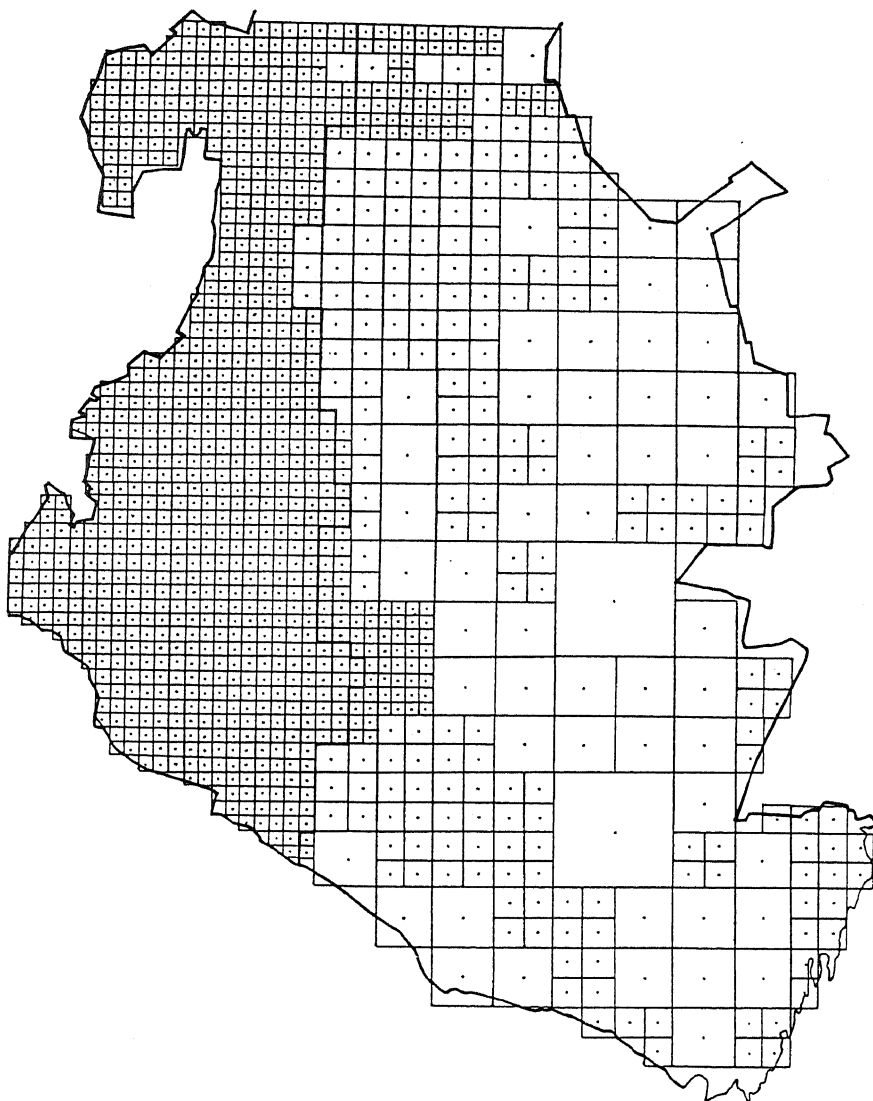


Рис. 16. Сеть ячеек, использованных для вычисления степени сельскохозяйственного воздействия на окружающую среду Калмыкии (утолщенная линия разделяет западную и восточную части)

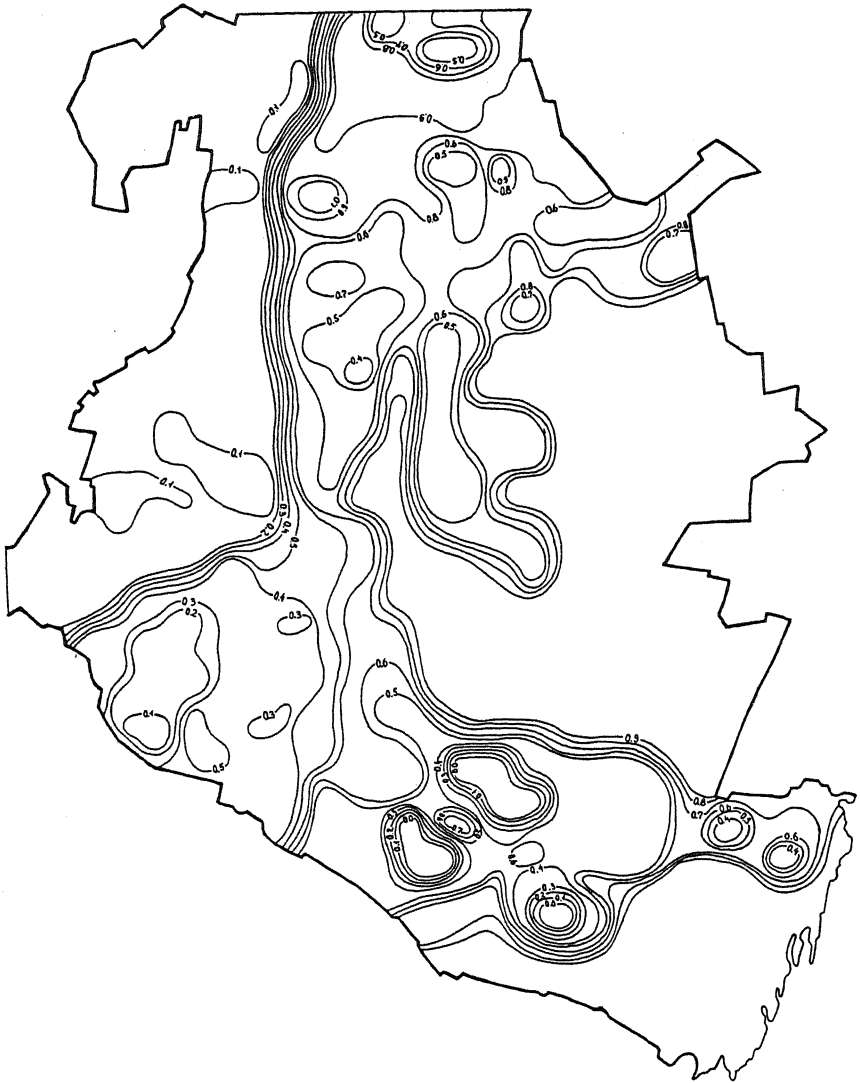


Рис. 17. Экологическая оценка воздействия сельского хозяйства на природную среду
 1,0–0,9 — очень слабое; 0,8–0,7 — слабое; 0,6–0,4 — среднее; 0,3–0,2 — сильное;
 0,1–0,0 — очень сильное (см. формулу (2.30))

поэтому в качестве окончательного мы использовали результат, представленный на рис. 17.

Анализ полученной карты показал, что она вполне достоверно и детально передает картину воздействия сельского хозяйства на природную среду Калмыкии. Экологическая оценка сельскохозяйственного воздействия в западном земельном районе колеблется от “очень сильной” (0,1–0,0) до “средней” (0,6–0,4). Ареалы “очень сильного” воздействия (0,1–0,0) приурочены к районам возделывания пропашных культур, что обуславливает относительно высокий коэффициент эрозионной опасности. Юг земельной зоны испытывает со стороны сельского хозяйства “среднее” воздействие (0,6–0,4), так как доля пропашных культур в севообороте снижается, возделываются преимущественно зерновые и травы, имеющие низкий коэффициент эрозионной опасности. Количество вносимых минеральных удобрений меньше влияет на интегральную экологическую оценку, поскольку вносимые дозы находятся в экологически допустимых пределах. Очень интенсивное воздействие на природную среду со стороны орошаемого земледелия не получило отражения на карте, поскольку в этом случае необходимо введение особых показателей. Такое дополнительное географическое исследование может быть сделано в дальнейшем. В восточном животноводческом районе сельскохозяйственное воздействие слабее, чем в западном. Ареалы “сильного” (0,3–0,2) и “очень сильного” (0,1–0,0) воздействия незначительны по площади и приурочены в основном к территории сильного засоления, а также к местам повышенных (иногда более чем в 16–18 раз) экологически недопустимых пастбищных нагрузок.

Важность проведенной разработки экологической оценки воздействия сельского хозяйства на природную среду очевидна. Изложенная методика позволила получить вполне обоснованные прогнозы путем моделирования различных сценариев развития экологической ситуации в Калмыкии. Можно также привести примеры комплексирования результатов расчетов по типологическому и оценочному алгоритмам на одной карте, но и в этом случае они лишь совмещаются, но не синтезируются (Горностаева, Тихунов, 1988).

Глава III

КОНСТРУИРОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ ЯВЛЕНИЙ

III.1. МОДЕЛИ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЯВЛЕНИЙ

Анализ взаимосвязей территориального размещения явлений посредством сопоставления их изображений на картах дает возможность достаточно просто обнаруживать влияние одних географических явлений на другие. Использование широкого спектра математических алгоритмов, позволяющих оценивать форму и тесноту связей между явлениями, открывает возможность исследовать не только ярко выраженные, но и осложненные рядом факторов взаимосвязи. Например, при изучении сложных географических систем речь, как правило, идет не об обычной оценке связи между двумя или несколькими компонентами с помощью статистических или информационных показателей. Задача ставится шире, и она состоит в разработке методики составления специальных тематических карт взаимосвязей, анализ которых дает возможность обнаружить территории с сильными (возможно, системообразующими) и слабыми (второстепенными) связями, выявить прямые и опосредствованные зависимости, оценить их знак и направленность и, главное, показать их пространственное варьирование.

Методика создания моделей взаимосвязей развита в ряде работ отечественных и зарубежных исследователей (Червяков, 1970, 1975; Берлянт, 1972, 1988; Берлянт, Тихунов, 1977; Ширяев, 1977; Астахов, Фролов, 1979; Robinson, 1962; Kadmon, 1968; и др.). Причем в большинстве случаев используется расчет коэффициентов парной корреляции, вычисляемых по дискретным территориальным ячейкам. Однако для оценки формы и тесноты связей между явлениями кроме парных, частных и множественных коэффициентов корреляции могут успешно использоваться корреляционные отношения, полихорический и тетрахорический показатели связи, коэффициенты взаимного соответствия, основанные на функции энтропии.

Методика конструирования моделей с использованием некоторых из перечисленных показателей позволяет их картографировать. В такой постановке задачи реализуется одна из важных тенденций развития математических методов в картографии — переход от вычисления по картам вероятностно-статистических показателей к картографированию этих показателей. Среди таких карт А.М. Берлянт (1978) выделяет картограммы взаимосвязи, карты изокоррелят, карты отклонений от регрессии, карты энтропии контуров.

III.1.1. Информационные модели взаимосвязей пространственных характеристик явлений

Наиболее просты модели взаимосвязей пространственных характеристик явлений, основанные на информационных показателях связи и позволяющие создавать карты энтропии контуров. Однако даже такие простые модели могут оказаться полезными при решении сложных проблем, например при исследовании факторов, влияющих на возникновение рака желудка. Уже давно замечено, что заболеваемость раком в различных странах неодинакова, а распространенность отдельных его видов колеблется не только в пределах обширных территорий мира, но даже в ограниченных регионах, таких, как Молдавия, Грузия и др. Установление частоты того или иного вида рака в различных типах местности или группах населения, а также определение ее взаимосвязи с факторами окружающей среды, привычками, обычаями позволяют иногда обнаружить причины рака (Шабад, 1973).

Как свидетельствует статистика, рак желудка и кишечника встречается особенно часто. Однако причины его возникновения изучены еще хуже, чем некоторых других видов рака. В частности, указывается на связь рака желудка с национальным составом населения, возникающего в результате традиционных рационов и характера питания. Например, в Японии, где заболеваемость раком желудка в 2 раза выше, чем в США, где рыбы потребляется в 7–8 раз больше.

Нельзя не учитывать и пагубного влияния химического, радиоактивного и фекального загрязнения окружающей среды. Например, санитарно-микробиологические исследования почвенного покрова Молдавии выявили фекальное загрязнение почв, поливаемых водой из открытых водоемов, куда сбрасывается недостаточно очищенный сток из населенных пунктов и промышленных предприятий. В частности, в районах значительного орошаемого земледелия острые кишечные инфекции в несколько раз выше, чем в других

районах (Меренюк, Пономарева, 1978), что может быть одной из возможных причин рака желудка. Е.С. Фельдман (1977) считает, что отмеченная некоторыми исследователями неоднородность средних уровней обеспеченности минеральных элементов (Zn, Cu, Mn, Pb, Mg, Ca, P, Fe, Mo, Al, Co) в продуктах питания по почвенно-географическим провинциям Молдавии может в какой-то мере объяснить частоту заболеваемости раком желудка.

С целью проверки предположений о связи рака желудка с некоторыми указанными факторами были созданы две карты энтропии контуров*.

Первая карта отображала энтропию контуров заболеваемости раком желудка сельского населения Молдавии относительно распространения магния в грунтовых водах и вторая — относительно национального состава сельского населения республики по природным районам. Исходные карты среднегодовой заболеваемости раком желудка сельского населения за 1963–1967 гг. (рис. 18), дефицита магния в грунтовых водах (рис. 19) и удельного веса русского и украинского населения в общей численности населения Молдавии (рис. 20) созданы на основе материалов, заимствованных из работ (Завтур и др., 1970; Фельдман, 1977). Все три карты составлены на основе природных районов, выделенных согласно почвенно-географическому районированию Молдавии, разработанному в Молдавском научно-исследовательском институте почвоведения им. Н.А. Димо под руководством И.А. Крупенникова.

Прежде всего с целью определения существенности взаимосвязи между заболеваемостью и дефицитом магния, а также заболеваемостью и национальным составом были вычислены полихорические показатели связи. Расчеты велись, следуя методике, описанной в книге А.М. Берлянта (1978), по формуле

$$\rho = \sqrt{\frac{S - 1 - \frac{(k_a - 1)(k_b - 1)}{n}}{\sqrt{(k_a - 1)(k_b - 1)}}}, \quad (3.1)$$

где $S = \sum_{i=1}^{k_a} \left(\frac{1}{n_{a_i}} \sum_{j=1}^{k_b} \frac{f_{ij}^2}{n_{b_j}} \right)$.

Обе карты, отображающие сравниваемые явления *A* и *B*, покрываются регулярной сеткой, размер ячеек которой определяется де-

* Расчеты произведены Н.Н. Комедчиковым под руководством автора.

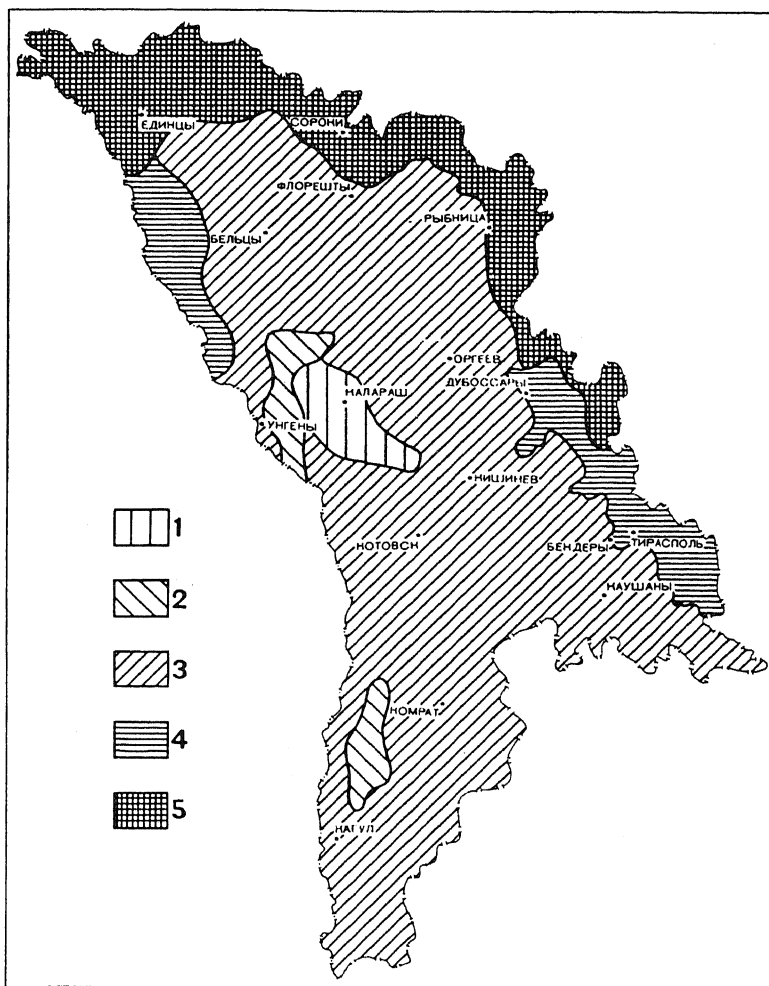


Рис. 18. Среднегодовая заболеваемость раком желудка сельского населения Молдавии за 1963–1967 гг. (число случаев на 100 тыс. населения): 1 — менее 4,0; 2 — 4,1–7,0; 3 — 7,1–10,0; 4 — 10,1–15,0; 5 — более 15,1

тальностью исходной информации. Сетка на обеих картах должна быть расположена идентичным образом. После этого подсчитывается количество точек регулярной решетки, которые попадают внутрь каждого контура (f) на обеих сравниваемых картах. Далее составляется комбинационная таблица, столбцы которой совпадают с градациями легенды первой карты (a_i), строки — с градациями второй карты (b_j). На основе конкретных значений f по каждому столбцу (i) и строке (j) таблицы подсчитываются частоты точек

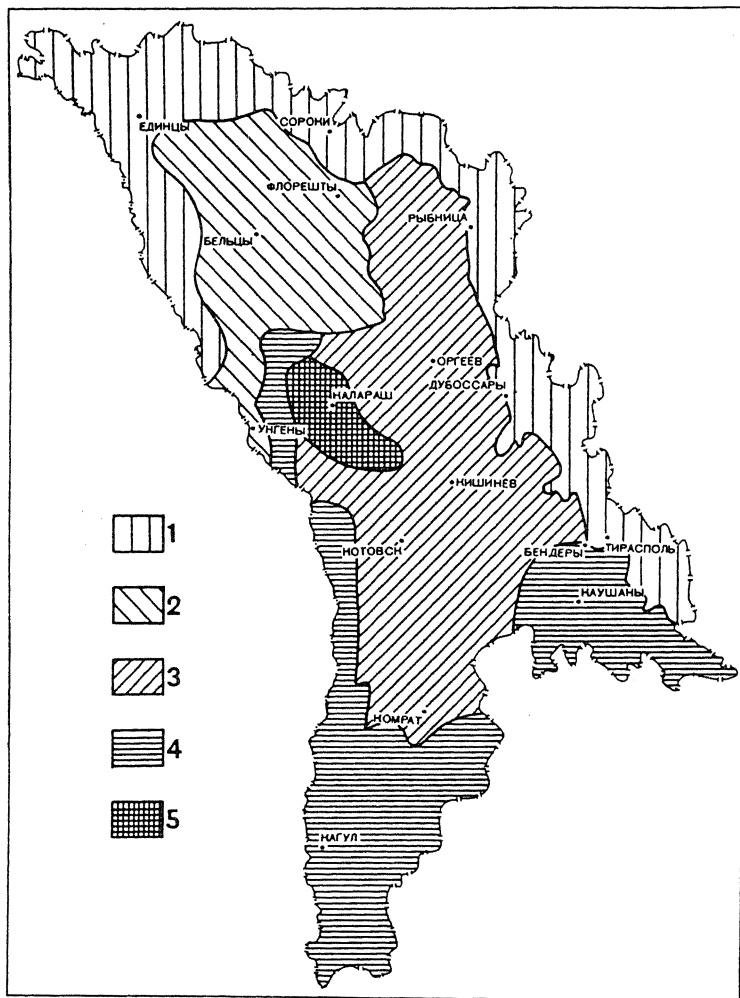


Рис. 19. Распространение магния в грунтовых водах, выраженное как среднегеометрическое количество магния (мг/л) по логнормальному распределению (медиана):
 1 — менее 50,0; 2 — 50,1–60,0; 3 — 60,1–80,0; 4 — 80,1–100,0; 5 — более 100,1

по градациям (n_a и n_b). Величина n в формуле (3.1) обозначает общее количество точек регулярной решетки, снятых с карт, а k_a и k_b — число столбцов и строк комбинационной таблицы.

Величина полихорического показателя связи между заболеваемостью раком желудка сельского населения и дефицитом магния в грунтовых водах по почвенно-географическим районам оказалась равной 0,73, что отражает достаточно высокую связь между явления-

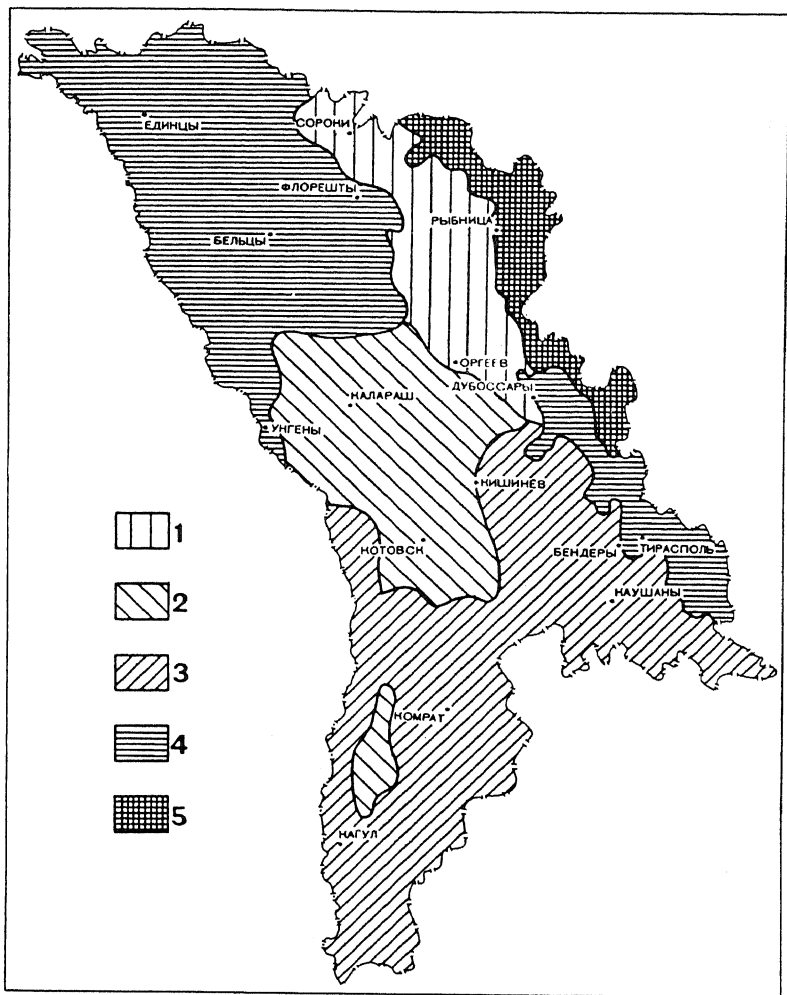


Рис. 20. Русское и украинское сельское население (удельный вес русского и украинского населения на 100 тыс. чел. в %): 1 — 0–5; 2 — 5–10; 3 — 10–20; 4 — 20–30; 5 — более 30

ми. Аналогичный показатель между заболеваемостью и долей русского и украинского населения в общей численности сельского населения ниже и равен 0,47.

Чтобы отобразить пространственное распределение показателей взаимосвязи явлений, были составлены две карты энтропии контуров заболеваемости раком желудка сельского населения относительно распространения магния в грунтовых водах и относительно национального состава сельского населения республики по природ-

ным районам. Следуя методике, описанной в работе (Берлянт, 1978), сравниваемые карты попарно совмещались и определялась степень схожести контуров на них. Если какой-либо контур на первой карте целиком вписывается в другой контур второй карты, то его энтропия считается равной нулю (случай полного соответствия контуров). Если анализируемый контур пересекает другие контуры, то при этом определяются доли площадей перекрытия каждого из них и подсчитывается энтропия по известной формуле

$$E_{\text{контур}} = - \sum_{i=1}^n \omega_i \log_2 \omega_i, \quad (3.2)$$

$$\omega_i = \frac{f_i}{\sum_{i=1}^n f_i},$$

где f_i — число точек в i -м контуре; n — число контуров.

Шкала на карте энтропии контуров заболеваемости раком желудка сельского населения относительно распространения магния в грунтовых водах (рис. 21) состоит всего из двух градаций. Причем первая градация, равная нулю, свидетельствует о тесной связи между заболеваемостью раком желудка и распространением Mg в этих районах. Там, где наблюдается высокое содержание магния в грунтовых водах, процент заболеваемости раком желудка среди населения самый низкий и наоборот.

Вторая градация шкалы энтропии соответствует такому положению, когда контуры заболеваемости раком желудка приурочены к трем контурам распределения магния в грунтовых водах. В этом случае наблюдается некоторое отклонение от общей закономерности, которое можно объяснить тем, что дефицит магния нельзя считать единственной причиной, обуславливающей возникновение рака желудка.

Шкала на карте энтропии контуров заболеваемости раком желудка сельского населения относительно распространения русского и украинского сельского населения республики (рис. 22) состоит из трех градаций. Анализ данной карты позволяет сделать общий вывод, что там, где процент русского и украинского населения больше, там и выше заболеваемость раком желудка. Следовательно, хотя данных о заболеваемости раком по национальностям нет, все равно можно предположить, что русские и украинцы болеют раком желуд-

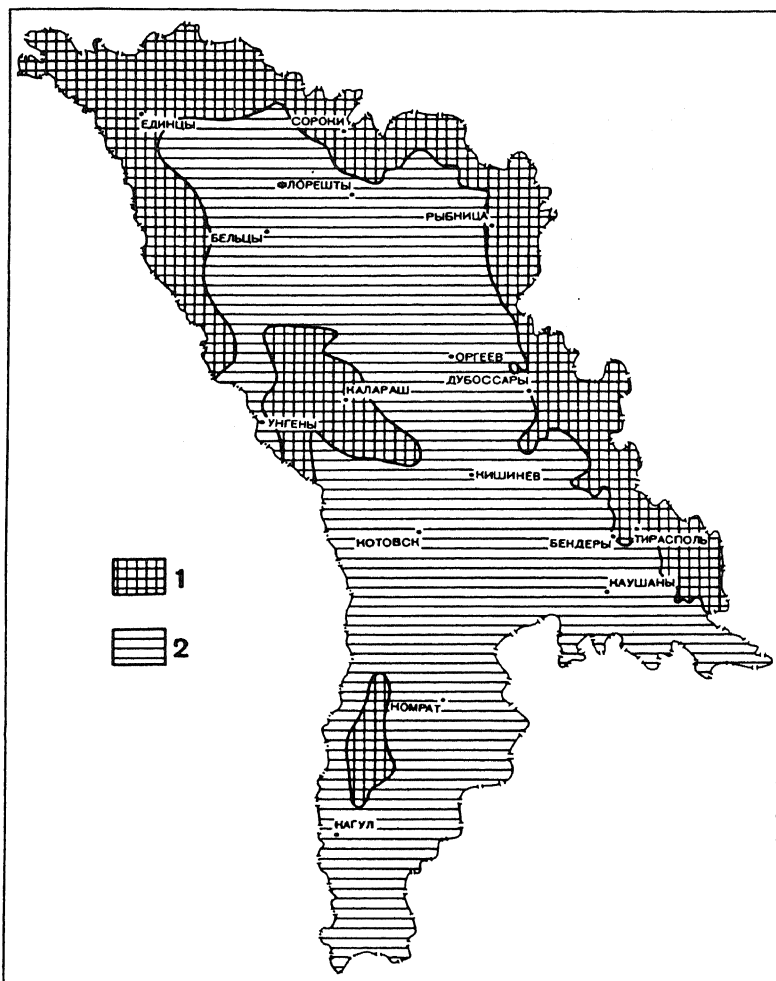


Рис. 21. Энтропия контуров заболеваемости раком желудка относительно распространения магния в грунтовых водах. Величина энтропии: 1 — 0,000; 2 — 1,479

ка чаще, чем молдаване. Это, возможно, объясняется особенностями их питания.

При создании карт энтропии контуров, равно как и при создании корреляционных карт, которые будут рассмотрены далее, необходимо следить за правильностью отображения содержательно-географических зависимостей между явлениями. Механистический расчет и анализ взаимосвязей без надлежащей содержательной интерпретации явлений могут привести к полному абсурду. В этой связи показателен пример сходства картографического изобра-

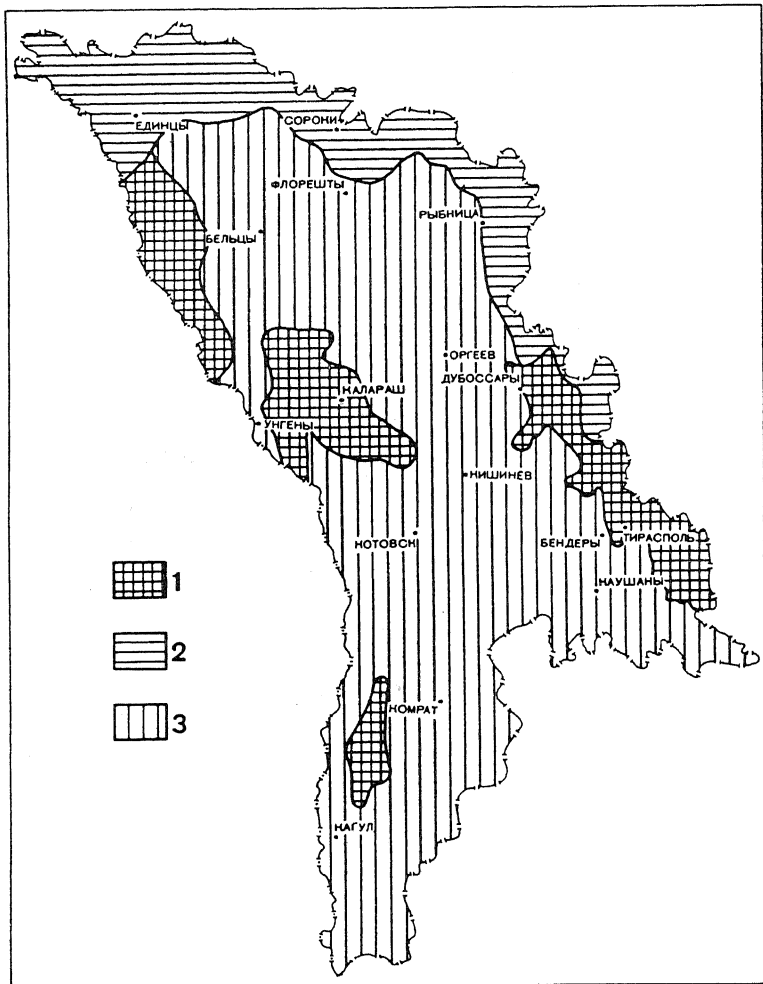


Рис. 22. Энтропия контуров заболеваемости раком желудка относительно размещения русского и украинского сельского населения. Величина энтропии: 1 — 0,000; 2 — 1,344; 3 — 1,862

жения, которое приводит к формально высоким показателям связи, при отсутствии причинной связи между явлениями (Берлянт, 1978).

Так, формальные показатели связи между показателями стока, датами набухания цветочных почек абрикоса и плотностью сельского населения Армении очень высоки, что не дает правильного представления о взаимосвязях. Такая псевдовзаимосвязь возникает из-за того, что изображения всех указанных явлений на

картах согласованы с изогипсами рельефа и в значительной мере по конфигурации повторяют горный рельеф Армении. Только географический анализ явлений помогает уяснить существо взаимосвязей, количественно выражаемое посредством математических показателей.

Информационный показатель связи, использованный при создании карт энтропии контуров, удобен для оценки степени соответствия конфигурации очертаний изображения явлений, без учета конкретных значений (качественных или количественных) сравниваемых явлений. Вычисление корреляционных показателей связи требует использования таких характеристик.

III.1.2. Корреляционные модели взаимосвязей пространственных характеристик явлений

В географии наиболее часто используется вычисление парных коэффициентов корреляции. Однако не менее полезным может оказаться использование множественных и частных показателей связи. Последние особенно важны при картографировании взаимосвязей, поскольку позволяют представить пространственное распределение связей между двумя (несколькими) явлениями при элиминации остальных. Большой объем вычислительных и картографических работ предполагает также усовершенствование методики определения показателей связи с привлечением ЭВМ.

Избегая громоздкости, проиллюстрируем методику составления корреляционных карт на модельном примере. На рис. 23 в качестве исходных взяты три карты *A*, *B* и *C* с изолинейным изображением. На карты строго скоординированно наложена квадратная сетка контрольных точек, используемых для вычисления всех показателей в пределах скользящего квадрата (Берлянт, 1972), в который включается $n = k^2$ точек, где k может принимать значения 3, 4, 5, ..., m . В нашем примере $k = 3$. Здесь следует иметь в виду, что при малом числе точек невозможно обеспечить надежность коэффициентов корреляции.

Ранговые корреляции между явлениями в каждой точке сетки вычисляются по формуле

$$R_{AB} = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n^3 - n}, \quad (3.3)$$

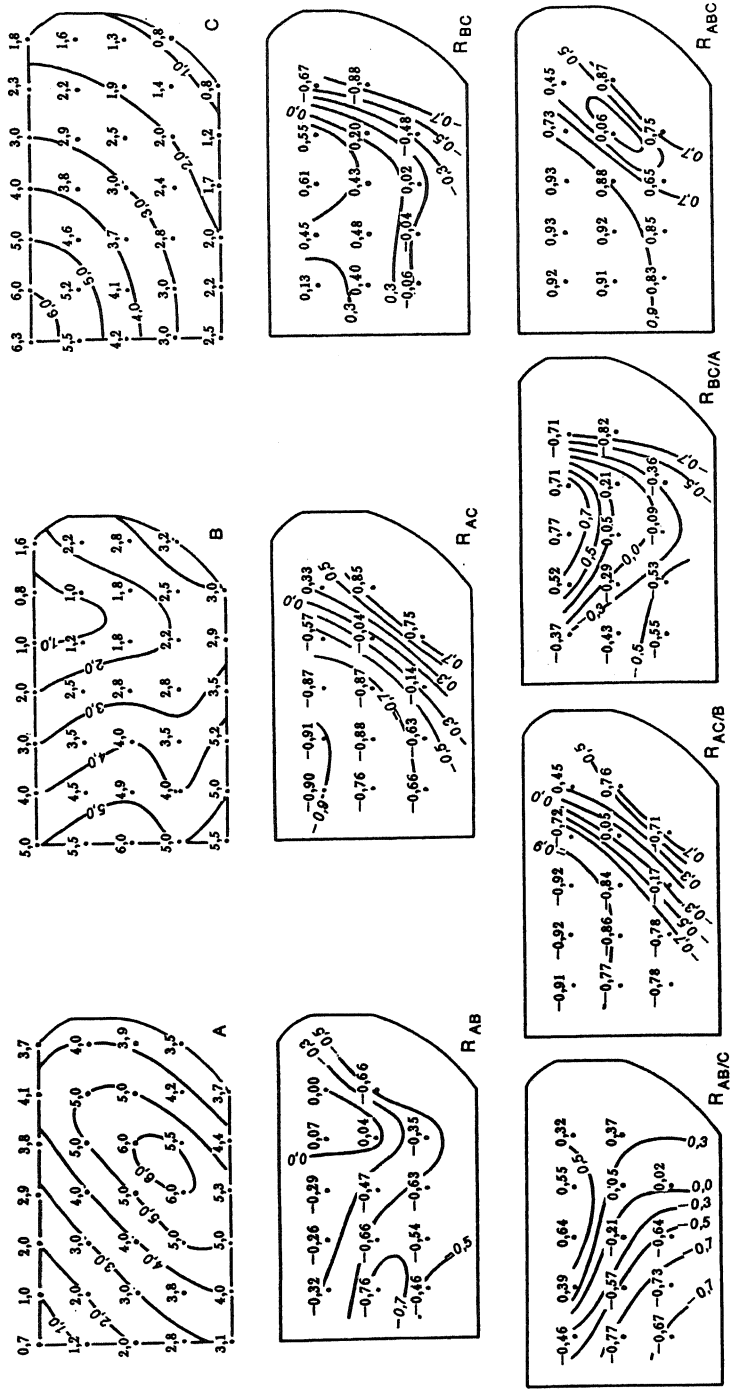


Рис. 23. Модельный пример вычисления парных, частных и множественных корреляций

где $d_i = p_{A_i} - p_{B_i}$ — разность рангов явлений A и B , снятых с разных карт, а n — объем выборки или число пар, постоянное для всех вычислений данной серии. Ранговый коэффициент корреляции особенно удобен при расчетах по регулярной сетке, когда используется небольшая выборка. Формула (3.3) выражает расчет ранговых коэффициентов корреляции по Спирмену. В географических исследованиях реже, но также используется коэффициент корреляции по Кендаллу. Однако, как следует из литературы, он и теоретически и практически уступает коэффициенту по Спирмену (Ван дер Варден, 1960).

Коэффициенты R_{AB} , R_{AC} и R_{BC} , получаемые в итоге расчетов, служат для создания карт не только парных, но и частных ранговых корреляций, которые позволяют выяснить, не является ли связь между какими-либо явлениями A и B обусловленной влиянием какого-нибудь третьего явления C . Формула частного коэффициента корреляции, позволяющая оценить связь между этими явлениями при исключении третьего, имеет вид

$$R_{AB/C} = \frac{R_{AB} - R_{AC}R_{BC}}{\sqrt{(1 - R_{AC}^2)(1 - R_{BC}^2)}}. \quad (3.4)$$

Частный показатель корреляции редко используется для исследования и картографирования взаимосвязей, хотя его применение может быть эффективным во многих случаях (Берлянт, Тикунов, 1977). Пусть, например, исследуются три явления: A — годовая сумма осадков; B — интенсивность смыва почвы; C — рельеф, а парные коэффициенты корреляции имеют значения $R_{AB} = 0,6$; $R_{AC} = 0,8$; $R_{BC} = 0,7$. Если теперь оценить влияние осадков на интенсивность смыва, исключив воздействие рельефа, то оказывается, что связь между этими явлениями практически отсутствует, $R_{AB/C} = 0,1$. Рассмотрим другой случай, при котором элиминация третьего фактора усиливает связь. Пусть A — сток с поверхности, B — глубина расчленения рельефа, C — литология поверхностных отложений (устойчивость их к размыву), а значения парных коэффициентов корреляции таковы: $R_{AB} = 0,4$; $R_{AC} = 0,3$; $R_{BC} = -0,6$. Величина R_{AB} указывает на малую зависимость глубины расчленения от поверхностного стока, однако можно предполагать, что эта связь замаскирована воздействием литологического фактора. Действительно, частный коэффициент корреляции между стоком и расчленением рельефа равен $R_{AB/C} = 0,8$.

На основе парных коэффициентов корреляции можно рассчитать также множественную корреляцию:

$$R_{ABC} = \sqrt{\frac{R_{AB}^2 + R_{AC}^2 - 2R_{AB}R_{AC}R_{BC}}{1 - R_{BC}^2}}. \quad (3.5)$$

Поскольку при использовании скользящего окна усиливается эффект автокорреляции, т.е. появление внутренней связи за счет влияния соседних точек друг на друга, то следует иметь в виду, что коэффициенты будут искажены.

В этом плане более совершенна методика с использованием “векторного” получения коэффициентов корреляции (Монмонье, 1983). В этом случае каждая матрица показателей представляется как трехмерная поверхность. Взаимосвязь двух поверхностей (A и B) определяется по формуле

$$R_{AB} = \frac{A'_x \cdot B'_x + A'_y \cdot B'_y}{\sqrt{(A_x'^2 + A_y'^2) (B_x'^2 + B_y'^2)}}, \quad (3.6)$$

где A'_x — частная производная уравнения поверхности A по оси X и т.д., что ясно из обозначений. По формуле (3.6) вычисляется косинус угла между градиентами поверхностей в некоторой точке с координатами x_i и y_i . Косинус этого угла принимается за коэффициент корреляции (Монмонье, 1983).

Методика расчета “векторного” способа вычисления коэффициентов такова. Задаем функции A и B . Если функции не заданы регулярно, то формируем каким-либо способом регулярные решетки, например с использованием “скользящего окна”, когда значения в его центрах определяются по полиному вида

$$Z(x, y) = \sum_{i=1}^n C_i \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2},$$

где n — число нерегулярных точек, попадающих в “окно”. Для каждой строки регулярной матрицы A строим ее сплайн-функции (профили) сечения по оси X . Определяем значения 1-й производной в узлах (аппроксимация Z'_{ax}). Та же процедура выполняется для каждого из столбцов и получаются значения Z'_{ay} . Аналогичная операция осуществляется с матрицей B . По формуле (3.7)

в каждом узле решетки вычисляются значения коэффициентов корреляции:

$$R_{AB} = \frac{Z'_{ax} \cdot Z'_{bx} + Z'_{ay} \cdot Z'_{by}}{\sqrt{(Z'^2_{ax} + Z'^2_{ay}) (Z'^2_{bx} + Z'^2_{by})}} . \quad (3.7)$$

Методика конструирования корреляционных моделей использована нами для составления корреляционных сельскохозяйственных карт Северного Казахстана (Тикунов, 1980г). В качестве исходного материала были использованы шесть карт (рис. 24) следующей тематики: 1) урожайность зеленой массы кукурузы в ц/га (А); 2) урожайность масличных культур в ц/га (В); 3) урожайность ячменя в ц/га (С); 4) сумма температур воздуха за период со средней суточной температурой выше 10° (D); 5) количество осадков за теплый период (апрель—октябрь) в мм (Е); 6) продолжительность безморозного периода в днях на открытом ровном месте (F). Данные карты составлены И.И. Августиновичем, Л.Е. Анапольской, С.А. Вериге, И.А. Гольцбергом, Т.Я. Золотовой, П.И. Колосковым, Л.Г. Конюковой, Н.Г. Ломакиной, Н.А. Мячковой, В.Н. Пупковым, Е.С. Рубинштейном, В.А. Смирновой, В.В. Тюктик и А.М. Шульгиным.

Все изолинии приведенных карт были оцифрованы автором с помощью цифрователя фирмы “D-Mac”, позволяющего автоматически записывать координаты изолиний с их фиксацией через каждую 1/50 долю секунды на магнитной ленте. Каждая карта цифровалась отдельно, образуя особый блок информации на ленте. Все изолинии цифровались с предварительной их идентификацией с помощью так называемых “видовых кодов”, т.е. перед каждым потоком текущих координат той или иной изолинии на магнитную ленту записывается ее значение урожайности, температуры и др. Таким образом, любой набор текущих координат точек изолинии как бы получает третью характеристику — высоту сечения. Эти точки с известными значениями координат и тематической характеристики могут быть использованы для вычисления величин данных характеристик в узлах квадратной или любой другой регулярной решетки, покрывающей весь исследуемый участок территории. Для этих целей вполне естественно использовать метод аппроксимации поверхности в узлах регулярной решетки.

В процессе применения данного алгоритма возникает проблема выбора размера квадратов, поскольку при их большой величине можно просеять как сквозь сито и потерять информацию о формах исход-

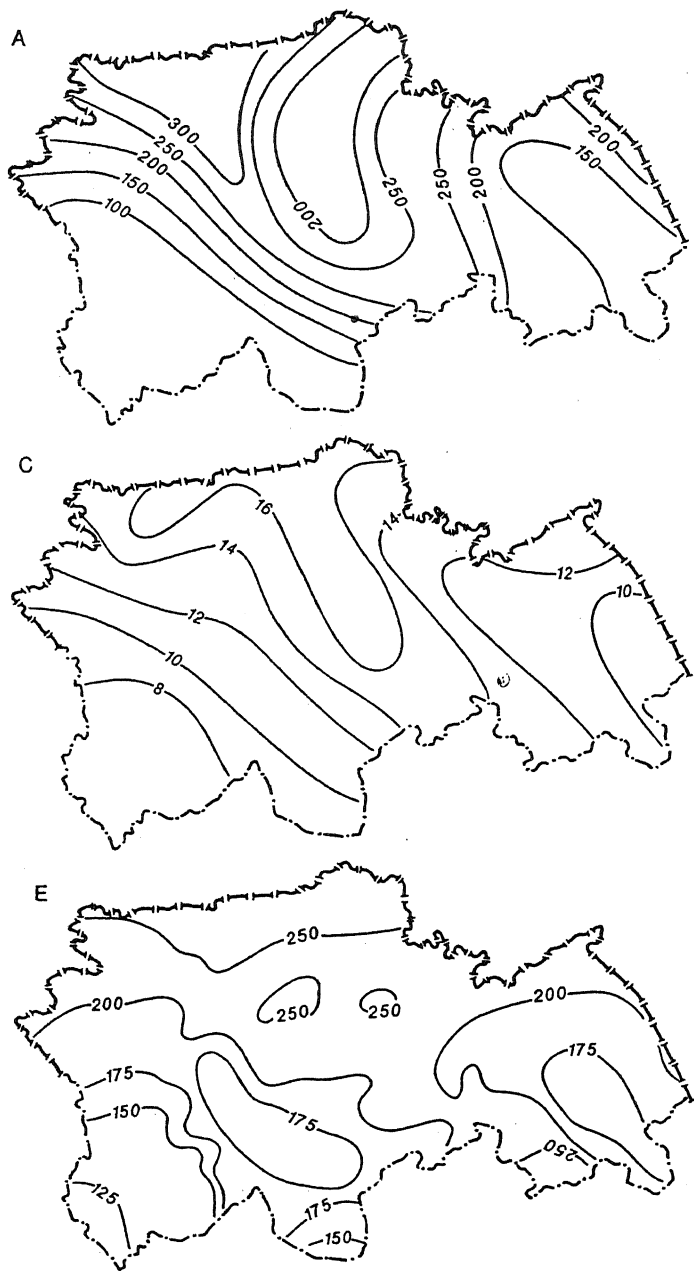
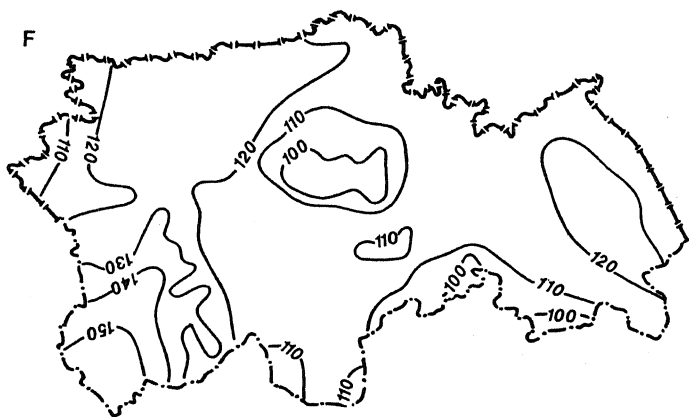
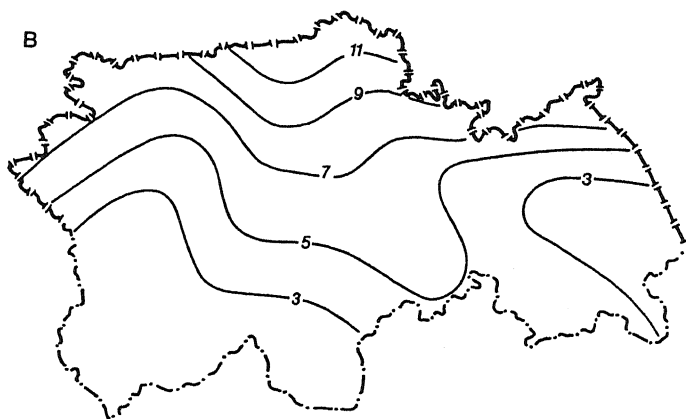


Рис. 24. Исходные карты для вычисления корреляций: А — урожайность зеленой массы кукурузы в ц/га; В — урожайность масличных культур в ц/га; С — урожайность ячменя в ц/га; D — суммы температур воздуха за период со средней су-



точной температурой выше 10°C; Е — количество осадков за теплый период (апрель—октябрь) в мм; F — продолжительность безморозного периода в днях на открытом ровном месте

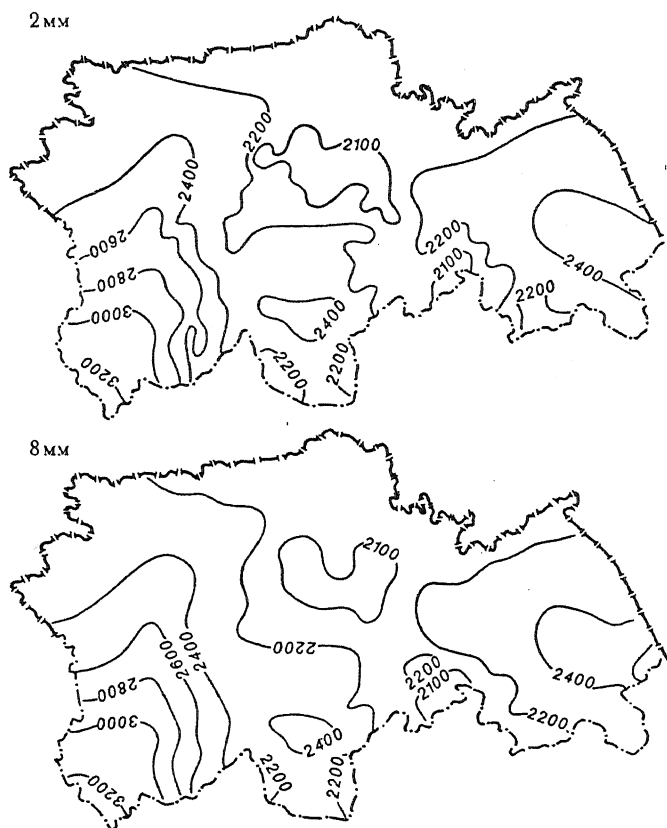
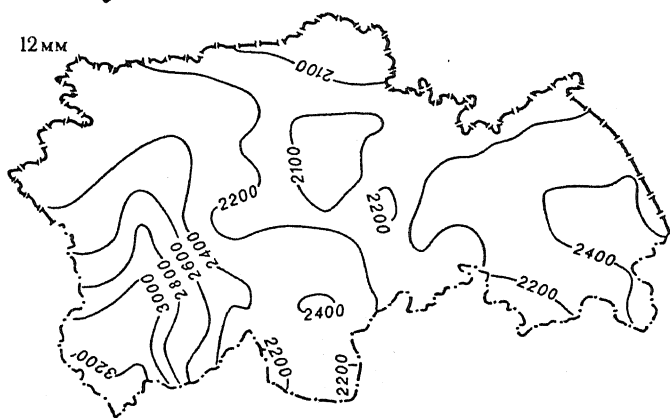
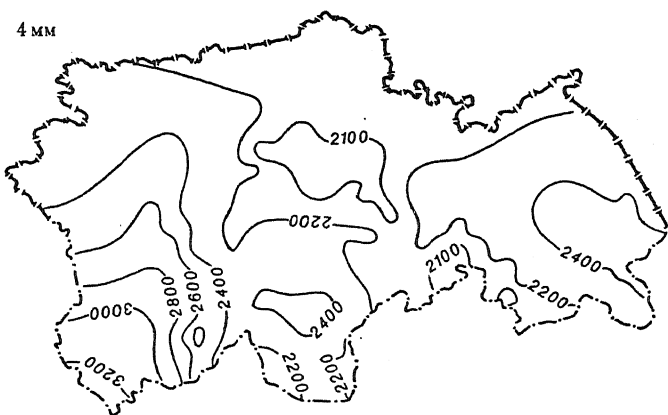


Рис. 25. Воспроизведенные карты сумм температур воздуха при их аппроксимации

ных поверхностей. При малом размере квадратов увеличивается объем работы ЭВМ. Поэтому нами был проведен эксперимент для определения оптимальной величины квадратов. Была выбрана наиболее сложная по конфигурации изолиний карта (рис. 24, D) и произведена аппроксимация поверхности сумм температур, изображенной на ней, с вычислением значений в узлах сети квадратов со стороной, равной 2 мм в масштабе карты 1:5 000 000. После этого, используя американский пакет программ SACM (Surface approximations and contour mapping), произведены интерполирование и вычерчивание изолиний на графопостроителе "Calcomp".

Шкала сечения изолиний воспроизведенной карты принята такой же, как и шкала исходной карты, что позволяет простым их совмещением выявить все различия между ними. Аналогично воспроизведена карта по сетке квадратов со сторонами 4, 8 и 12 мм. Естественно, что с увеличением размера квадрата отличия между исходной и воспро-



по сетке квадратов со сторонами 2, 4, 8 и 12 мм

изведенными картами становились все большими. На рис. 25 воспроизведены интерполированные автоматическим путем изолинии, показанные лишь в границах картографируемой территории.

Карта, изолинии для которой интерполировались по сетке квадратов со стороной 2 мм, практически не отличается от исходного изображения. Карта, для которой использовалась сеть квадратов со стороной 4 мм, также мало отличается от исходной, а вот карта с шагом 8 мм уже отличается значительно сильнее, но не искажает основных форм, чего нельзя сказать о карте с шагом в 12 мм. То есть цифровая модель поверхности с таким шагом уже не пригодна для дальнейшего использования. Поэтому первоначально для составления корреляционных карт были взяты цифровые модели поверхности с шагом 4 и 8 мм. Расчет корреляций для этих двух вариантов показал, что результирующие корреляционные карты (для примера коррелировались поверхности *D* и *E*) практически не различают-

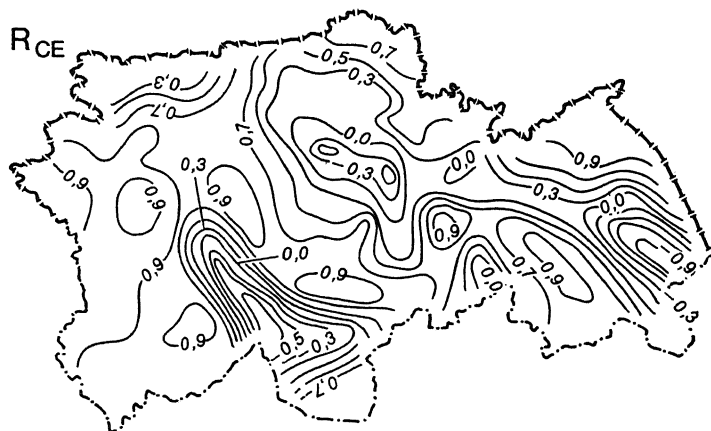
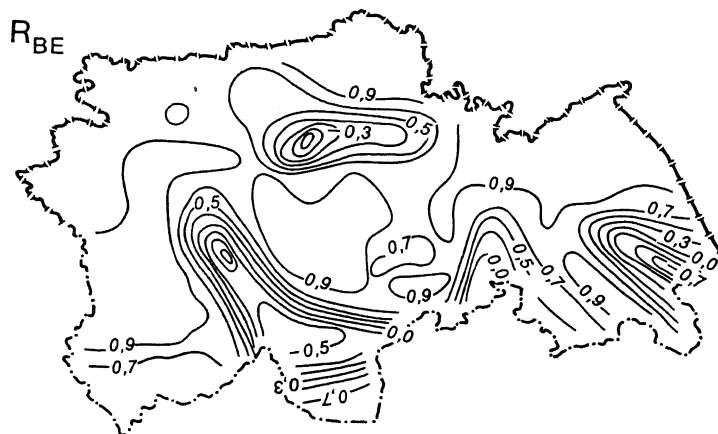
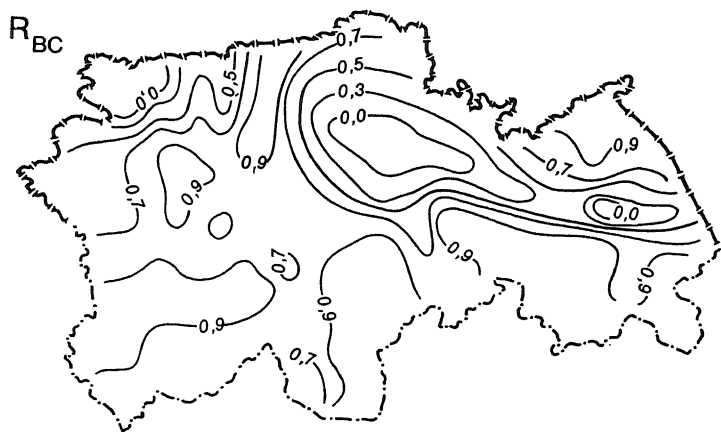
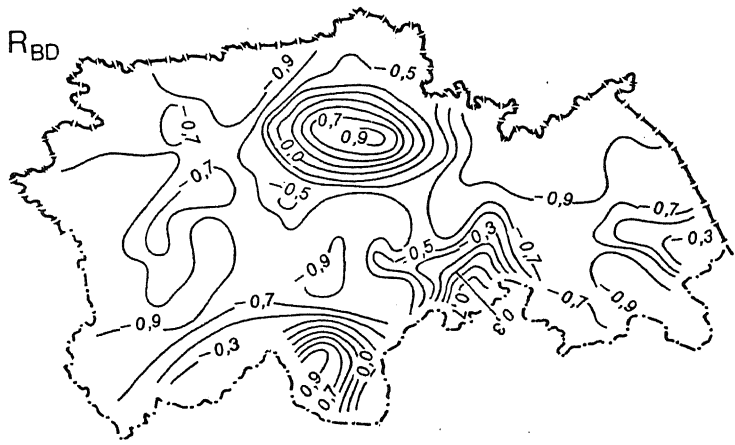
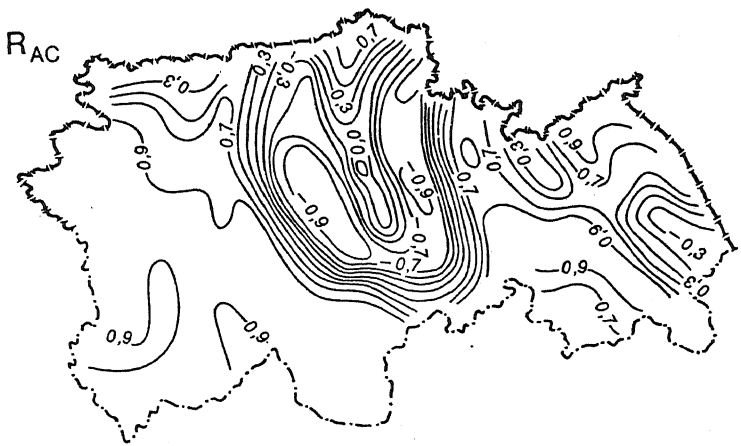


Рис. 26. Парные коэффициенты



корреляции

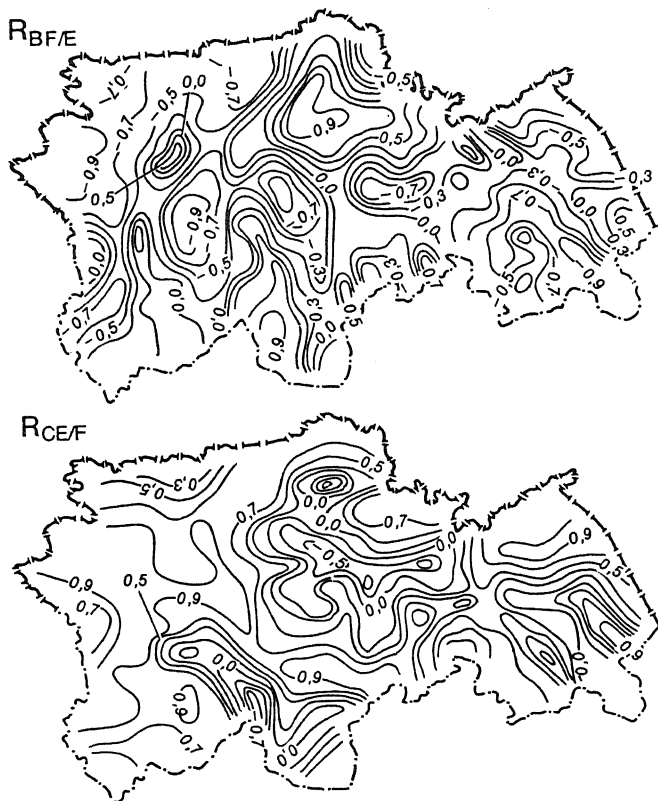
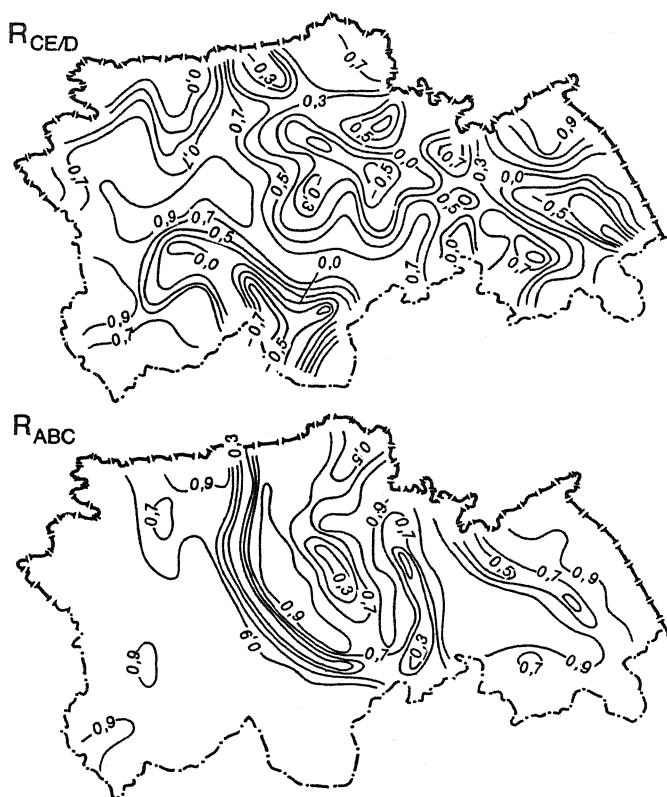


Рис. 27. Частные и множественные

ся, поскольку имеющиеся различия в их цифровых моделях нивелируются в процессе расчетов, а также достаточно большим интервалом между изолиниями коэффициентов корреляции. В связи с этим для расчета по всем картам исследуемой серии выбрана аппроксимация с шагом 8 мм, который не только с формальных позиций, но и при визуальном анализе согласуется с характером пространственных изменений показателей.

После расчета корреляций, используя программу SACM, можно автоматическим путем вычертить изолинии на результирующих картах, однако мы отказались от этой возможности, поскольку у краев карты расчетные значения будут искажены, а интерполяционная программа будет использовать и эти значения. Поэтому вычисленные корреляции выдавались на печать в виде линейно-печатаемых карт на алфавитно-цифровом печатающем устройстве ЭВМ и по значениям корреляций вручную проводились изолинии. Всего было напеча-



корреляции

тано 30 карт парных, частных и множественных коэффициентов корреляции. Из этой серии шесть карт парных коэффициентов корреляции приведены на рис. 26, а три карты частных и одна множественных корреляций — на рис. 27.

Изображенные на данных рисунках корреляционные карты выражают вполне определенные географические закономерности. Причем эти закономерности проявляются не только при сравнении карт урожайности с картами различных природных характеристик, но и между собой. Например, взаимосвязь между урожайностью зеленой массы кукурузы и ячменя (R_{AC}) выражается через высокие положительные и отрицательные коэффициенты. Высокая положительная взаимосвязь наблюдается в Тургайской, на юге Кустанайской, юго-западе Целиноградской, северо-востоке, а также юго-западе Павлодарской областей и занимает большую половину всего исследуемого региона. Ослабление связи, например, на севере Кустанайской обла-

сти отражает более существенный рост урожайности кукурузы к северу по сравнению с ячменем. Это обусловлено тем, что при сравнительно большом количестве осадков здесь наблюдается одновременное повышение суммы температур за теплый период. Такое положение оказывает благоприятное влияние на урожайность зеленой массы кукурузы как более теплолюбивой культуры по сравнению с ячменем.

Ослабление и появление существенной отрицательной связи в центральных районах Северного Казахстана вызваны тем, что здесь наименьшие суммы температур, наименьшая продолжительность безморозного периода, повышенная вероятность повреждения растений заморозками, пониженная летняя температура. Все это отрицательно сказывается на урожайности зеленой массы кукурузы, но в гораздо меньшей степени на урожайность ячменя. К периферии исследуемого региона постепенно начинает сказываться сухость климата, и урожайность как кукурузы, так и ячменя понижается, что проявляется и в росте коэффициентов корреляции.

Аналогичную интерпретацию коэффициентам корреляции можно дать, анализируя карту взаимосвязи урожайности масличных культур и ячменя (R_{BC}). Другие же карты приведенной серии раскрывают взаимосвязи между урожайностью отдельных сельскохозяйственных культур и природными условиями. Например, карта корреляций между урожайностью масличных культур и суммой температур воздуха за период со средней суточной температурой выше 10° (R_{BD}) отражает подавляющее распространение отрицательных коэффициентов. Это связано с общей засушливостью климата, отрицательно влияющей на урожайность и связанной с суммой температур посредством значительной для всей территории испаряемости. В целом для Северного Казахстана высокие суммы температур обычно соответствуют низкой урожайности и наоборот. Наблюдающиеся районы положительной связи (Казахский мелкосопочник, юго-запад Целиноградской области и др.) связаны с пониженной урожайностью масличных культур и суммы температур. В этих случаях уменьшение урожайности объясняется другими причинами. Например, в Целиноградской области это обусловливается ухудшением свойств почвы (увеличением солонцеватости, уменьшением содержания гумуса, увеличением щебнистости и др.), которые оцениваются здесь как малоблагоприятные для земледелия.

Следующая карта (R_{BE}) свидетельствует о положительном влиянии повышения количества осадков на урожайность масличных культур. Имеющиеся отклонения могут быть объяснены расчленен-

ностью рельефа и большим стоком, а также засоленностью и низким содержанием питательных веществ в почвах и другими причинами. Наиболее сильная отрицательная связь на юго-востоке Павлодарской области (по восточному берегу Иртыша). Она обусловлена уменьшением урожайности, несмотря на увеличение осадков, что вызвано наличием здесь песчаных и супесчаных почв с их худшими водно-физическими свойствами и усилением ветровой эрозии.

Другие приведенные карты парных коэффициентов корреляции также отражают объективно существующие взаимосвязи между урожайностью и природными условиями. Однако очевидно, что природные условия оказывают влияние во всей своей совокупности, часто косвенно и могут четче проявиться при исключении осложняющего влияния других факторов. В связи с этим особый интерес представляют карты частных коэффициентов корреляции, которые можно анализировать не только отдельно, но и в сравнении их с соответствующими картами парных корреляций.

Возьмем для примера карту взаимосвязи урожайности ячменя с осадками при элиминации суммы температур ($R_{CE/D}$). На этой карте наблюдаются некоторые изменения коэффициентов корреляции по сравнению с картой R_{CE} . Например, увеличилась связь на севере и востоке Кокчетавской области, что верно отражает рост урожайности при увеличении количества осадков к северу. Эта взаимосвязь на карте парных корреляций отчасти маскируется влиянием сумм температур. В целом карты парных и частных корреляций близки, что свидетельствует о малом влиянии сумм температур по всей территории на такую культуру, как ячмень.

Интересны карты множественных коэффициентов корреляции. Так, коэффициенты корреляции между урожайностями всех трех исследуемых сельскохозяйственных культур существенно отличаются от парных корреляций. Прежде всего бросается в глаза то, что связь везде положительна и по величине превосходит значения парных коэффициентов. Наиболее пестра картина в среднем районе Северного Казахстана с разнообразными природными условиями.

Вполне естественно, что для всестороннего изучения причин, влияющих на урожайность сельскохозяйственных культур, в корреляционный анализ должны быть включены и другие, как природные, так и социально-экономические, показатели. Однако даже исследование очень ограниченного числа факторов позволяет обнаружить интересные закономерности, которые прослеживаются на созданных корреляционных картах.

Можно привести еще ряд примеров создания корреляционных карт, позволяющих обнаружить взаимосвязи между явлениями, например между комплексом природных и социальных явлений, что осуществлено для территории Алтайского края (Тикунов, 1985б). В этом случае ставилась задача выяснить степень соответствия между оценкой природных условий для жизни населения и плотностью населения. Тематические корреляционные карты позволили значительно детализировать представления о зависимостях, существующих между расселением и природными условиями Алтайского края. Прослеживание пространственного варьирования связей от места к месту по всей территории дало возможность выявить районы, где природные условия в значительной мере определили факторы, препятствующие или благоприятствующие размещению населения. С другой стороны, по составленным картам удалось выявить территории, где расселение мало зависит от природных факторов.

III.2. МОДЕЛИ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ СОДЕРЖАТЕЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЯВЛЕНИЙ

III.2.1. Корреляционные модели взаимосвязей содержательных характеристик явлений

Модели взаимосвязей содержательных характеристик явлений чаще всего основаны на расчете и картографировании коэффициентов корреляции, хотя для этих же целей могут применяться и другие разнообразные показатели взаимосвязей. При традиционной методике вычисления парных коэффициентов корреляции происходит сравнение сходства столбцов матрицы исходной многомерной информации X (2.11) по всему ряду анализируемых территориальных единиц. Такой расчет коэффициентов корреляции приводит к образованию их матрицы (2.12). Отметим, что коррелируемые ряды должны состоять из независимых случайных величин с нормальным законом распределения, а длина рядов должна обеспечивать надежность вычисляемых коэффициентов корреляции.

Парные коэффициенты корреляции можно рассчитывать не только между столбцами, но и между строками матрицы X . Используя терминологию факторного анализа, такую вычислительную процедуру можно назвать Q -модификацией корреляционного анализа, в от-

личие от вышеописанного R -анализа. Для этого достаточно транспонировать матрицу X . Тогда расчет корреляций приведет к образованную матрицу R' :

$$R' = \begin{bmatrix} 1 & r_{12} & r_{13} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & 1 & r_{23} & \dots & r_{2n} \\ r_{31} & r_{32} & 1 & \dots & r_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{n1} & r_{n2} & r_{n3} & \dots & 1 \end{bmatrix}. \quad (3.8)$$

В этом случае число строк и столбцов матрицы определяется количеством исследуемых территориальных единиц ($n \times n$), а длина рядов — числом исходных признаков-индикаторов (m).

Матрица R' в отличие от R удобна тем, что в ней характеризуются территориальные единицы, которые можно картографировать в целях анализа их пространственного размещения. Картографирование результатов Q -анализа можно проводить в разных направлениях. Одно из них — изучение наиболее общих, межрайонных закономерностей во взаимосвязях содержательных характеристик явлений (Сербенюк, Жуков, 1973). Второе направление заключается в исследовании внутрирайонных особенностей. Реализация данного направления производится на базе моноструктурной информации по отдельным пунктам или мелким единицам территории. Таким примером могут служить расчет и картографирование корреляций по мелким единицам административно-территориального деления Польши — повятам (Жуков, Тикунов, 1977) или создание серии карт структуры занятий в сельских регионах России (Алексеев, Тикунов, Борзилова, Ревзина, 1993). Серию карт по России мы и используем в качестве иллюстрации методики.

В качестве исходного материала для эксперимента нами использованы данные о распределении населения по занятиям на основе переписи 1989 г. в разрезе тогдашних АССР, краев и областей; автономные области и автономные округа отдельно не выделялись, поэтому общее число анализируемых административно-территориальных единиц составило 71. В материалах переписи выделено 46 групп занятий; кроме того, для сельскохозяйственных занятий (как наиболее распространенных в сельской местности) было взято и распределение по конкретным занятиям (16 видов), а также общее количество занятых умственным и физическим трудом. В итоге по каждой административно-территориальной единице мы имели следующие 64 показателя: 1) руководители органов государственного управления и их структурных подразделений; 2) руководители и инструкторы пар-

тийных и общественных организаций и их структурных подразделений; 3) руководители предприятий и организаций (промышленности, строительства, сельского и лесного хозяйства, транспорта и связи); 4) инженерно-технические специалисты; 5) агрономы, зоотехники, ветеринарные работники и лесничие; 6) медицинские работники; 7) научные работники, преподаватели, воспитатели; 8) работники литературы и печати; 9) культурно-просветительные работники; 10) работники искусства; 11) юридический персонал; 12) работники охраны собственности и общественного порядка; 13) работники торговли, общепита, заготовок, снабжения и сбыта; 14) работники планирования и учета; 15) работники канцелярии и делопроизводительный персонал; 16) работники предприятий и организаций жилищно-коммунального хозяйства и бытового обслуживания населения; 17) занятия служащих, не включенные в другие группы; 18) занятия на силовых установках; 19) занятия горняков и торфяников; 20) занятия металлургов, литейщиков и по производству кокса; 21) занятия в машиностроении и металлообработке; 22) занятия химиков; 23) занятия в производстве строительных материалов, стекла и фарфоро-фаянсовых изделий; 24) занятия на лесозаготовках, по охране и выращиванию леса; 25) занятия деревообработчиков; 26) занятия бумажников и картонажников; 27) занятия полиграфистов; 28) занятия текстильщиков; 29) занятия швейников; 30) занятия кожевников и меховщиков; 31) занятия обувщиков; 32) занятия пищевиков; 33) занятия строителей; 34) бригады в сельском хозяйстве (кроме бригадиров с высшим и средним специальным образованием); 35) трактористы-машинисты, трактористы, комбайнеры; 36) машинисты на сельскохозяйственных установках; 37) занятые в растениеводстве; 38) операторы по обслуживанию крупного рогатого скота, скотники, телятницы; 39) операторы машинного доения, дояры; 40) конюхи, коневоды; 41) операторы свиноферм, свиноводы; 42) пастухи, чабаны; 43) прочие занятые в животноводстве; 44) операторы птицефабрик, птицеводы; 45) садоводы, виноградари; 46) пчеловоды; 47) овощеводы, бахчеводы; 48) работники поливного хозяйства; 49) прочие занятые в сельском хозяйстве; 50) занятые в рыболовстве, рыбоводстве и охоте; 51) занятия рабочих железнодорожного транспорта; 52) занятия водников; 53) занятия на автотранспорте и городском электротранспорте; 54) занятия на прочих видах транспорта; 55) занятия рабочих связи; 56) занятия на подъемно-транспортных механизмах; 57) занятия рабочих в торговле и общепите; 58) рабочие жилищно-коммунального хозяйства и бытового обслуживания населения; 59) ки-

номеханики; 60) санитары, няни; 61) занятия рабочих, общие для всех отраслей.

В отличие от ранее проведенных экспериментов по созданию карт отраслевых структур промышленности Польши на уровне повятов (Жуков, Тикунов, 1977) была сделана одна, но, как оказалось, существенная модификация. Так, если произвести расчет коэффициентов корреляции по ранее использованным схемам, то это приводит к получению очень высоких коэффициентов корреляции, мало варьирующих в пространстве. Содержательный анализ получаемых “микроразличий” коэффициентов корреляции, которые могут возникнуть и за счет незначительных случайных флуктуаций в исходных рядах показателей, затруднен, и иногда поэтому результаты оказываются сложно интерпретируемы. Поэтому мы придали эксперименту несколько иную содержательную направленность. Вначале были вычислены суммарные значения по каждому из 61 показателя в целом для России, а далее подсчитаны проценты каждой территориальной единицы по отношению к суммарной для России величине раздельно по каждому показателю. Это позволяет представить исходные данные как бы в иной плоскости, т.е. сделать все показатели как бы “равнозначными”, не зависящими от того, мало- или многочисленна та или иная отрасль занятий населения, что в итоге приводит к принципиально отличным конечным результатам.

В результате расчетов коэффициентов корреляции между всеми парами административно-территориальных единиц получается матрица размерностью 71×71 . Для того чтобы проводить сравнительный анализ не только на областном уровне, в матрицу исходных данных добавлено еще 12 рядов, соответствующих средним значениям для 11 экономических районов (Северный, Северо-Западный, Центральный, Центрально-Черноземный, Волго-Вятский, Северо-Кавказский, Поволжский, Уральский, Западно-Сибирский, Восточно-Сибирский, Дальневосточный) и европейской части России в целом. Расчет коэффициентов корреляции для такого расширенного набора данных приводит к результирующей матрице коэффициентов корреляции размерностью 83×83 . На основе данной корреляционной матрицы можно построить огромную серию карт — 71 карту корреляций любой области со всеми остальными; любого экономического района или европейской части России со всеми единицами административно-территориального деления и др.

Наибольший интерес представляет рис. 28, показывающий коэффициенты корреляции каждой территориальной единицы со всеми ее

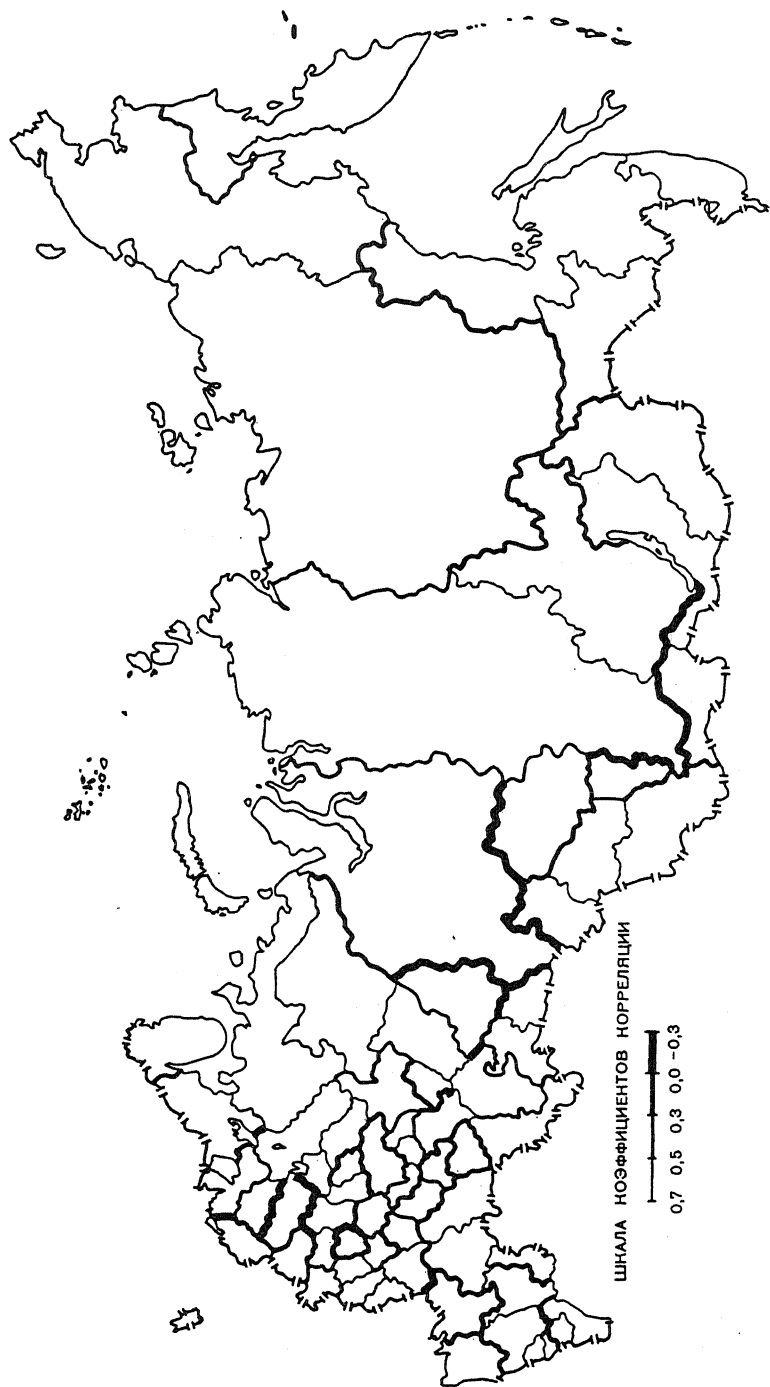


Рис. 28. Корреляция структуры занятий населения в сельских регионах в соседствующих административно-территориальных единицах России

соседями. Данную карту можно интерпретировать как своего рода районирование территории, поскольку здесь выделяются группы областей, в той или иной степени похожие на своих соседей. Прежде всего обращает на себя внимание близость друг к другу тех административно-территориальных единиц, которые в восприятии экономико-географов традиционно объединяются в группы. Например, южная зона Дальнего Востока — Амурская область, Приморский и Хабаровский края; юг Западной Сибири — Алтайский край, Омская и Новосибирская области; Нижнее Поволжье — Саратовская и Волгоградская области и в меньшей степени Астраханская область, у которой коэффициенты корреляции с соседями понижены, поскольку в структуре занятых резко возрастает доля рыбной промышленности.

Просто “классически” выделяется Центрально-Черноземный район, причем не только в составе пяти областей (как было принято Госпланом по последней сетке), а включая еще и Орловскую, о реальной близости которой к Центрально-Черноземному району (а не Центральному) географы писали уже достаточно давно. Правда, включение в состав Центрально-Черноземного района Орловской области “потянет за собой” и Брянскую область, очень близкую к ней на нашей карте, но с этим уже надо будет разбираться подробнее.

Очень интересна картина Российского Нечерноземья. Прежде всего отметим не предполагавшуюся несхожесть областей типичного Нечерноземья — Новгородской, Псковской и Тверской. Сравнение конкретных показателей основных наиболее массовых занятий (инженерно-технические работники, транспортники, механизаторы, скотники, доярки, растениеводы, строители) не подтверждает больших различий между этими областями. В данном случае малые коэффициенты корреляции обусловлены различиями в занятости не по массовым профессиям, а по более редким, занимающим меньшую долю в структуре населения, но представленных гораздо большим числом занятий.

Тем не менее полученная в Нечерноземье картина весьма интересна для анализа. Отмечается тесная близость друг к другу административно-территориальных единиц, обычно объединяемых названием “Русский Север”: Карелии, Коми, Архангельской и Вологодской областей, а также (не всегда включаемых в этот район) Ярославской, Костромской и Кировской областей. Данная карта — дополнительный аргумент за то, что последние три области очень похожи на классический “Русский Север”.

Весьма любопытное объединение административно-территориальных единиц сложилось вокруг Московской области. В большинстве типологий ее обычно выделяют в особый тип — “урбанизированной сельской местности”. Однако по многим параметрам (и прежде всего по развитию маятниковых миграций, тесным связям села и города) к ней близки Владимирская и Ивановская области — что и проявилось на нашей карте. Хотя и меньшее, но все-таки тяготение сюда же и Калужской области говорит скорее всего о том, что в пределах области все более определяющую роль стала играть ее северо-восточная часть (район Обнинска и Малоярославца) — гораздо более урбанизированная и тяготеющая к Москве.

Следует также учитывать и особенность исходного статистического материала. Распределение населения по занятиям в рамках разработки материалов переписей населения проводится по месту жительства. Следовательно, сельский житель, работающий в городе, попадает в категорию, отнесенную к сельской местности (но со своей городской профессией). Поэтому наши материалы, строго говоря, показывают не урбанизированность сельской местности, а урбанизированность проживающего там населения (значительная часть которого работает в городах). А поскольку прямой учет маятниковых миграций “село—город” крайне неточен, использованные нами материалы, как представляется, позволяют значительно лучше учесть влияние городов на структуру сельского населения.

В литературе отмечалось (но чаще всего качественно), что ситуация в трех республиках Волго-Вятского района (Марийской, Мордовской и Чувашской) отличается от соседних областей Нечерноземья. На нашей карте это нашло подтверждение: все три республики очень похожи друг на друга и совсем не похожи на большую часть соседей. Интересно, что на Татарию они похожи в гораздо большей степени, чем на соседние области. А сама Татария в наибольшей степени похожа на Башкирию, в несколько меньшей — на республики Волго-Вятского района и совсем непохожа на соседние области (Ульяновскую, Самарскую, Кировскую) и на Удмуртию, которая уже часть Урала (и похожа на Пермскую область).

Положение Башкирии говорит о ее переходности между Поволжьем и Уралом (и, видимо, не случайно бывший Госплан ее относил то к Поволжскому, то к Уральскому району). Она похожа на Татарию и в то же время на Удмуртию и Пермскую область, не слишком сильно отличается от Челябинской и Оренбургской областей. В похожем положении и Пермская область: она и северная и одновременно уральская. Собственно Урал на нашей карте четко разделился на

горно-лесной (Свердловская область) и степной (Челябинская и Курганская области).

Согласно традиционным представлениям географов, Курганская область должна быть похожа на соседние области юга Западной Сибири, однако карта показывает ее резкие отличия от Тюменской области. Но такая картина скорее всего обусловлена тем, что наши материалы не позволяют “очистить” юг Тюменской области от влияния ее автономных округов. А рассмотрение связей Курганской области с Омской и Новосибирской показывает коэффициенты корреляции более 0,8; так что можно с уверенностью утверждать, что от Алтая до Урала мы имеем ряд весьма похожих единиц — юг Западной Сибири и Урала.

В Восточной Сибири выделяются три группы единиц: Красноярский край и Иркутская область; Бурятия и Читинская область; Тува. В двух последних случаях, вследствие большого естественного прироста нерусского населения (и даже относительного избытка рабочей силы в селе), налицо большая доля имеющих сельскохозяйственные занятия, особенно в животноводстве; Читинская область попала в эту же группу в значительной степени из-за наличия на ее территории Агинского Бурятского автономного округа.

Более сложно интерпретировать карту на Северном Кавказе. Здесь четко прослеживаются две резко различающиеся группы республик: Северная Осетия и Кабардино-Балкария; Дагестан и Чечено-Ингушетия (напомним, что нами использованы данные 1989 г., когда эта республика еще не разделилась, кроме того поскольку данных по автономиям мы не имели то, например, Адыгея рассматривается в составе Краснодарского края и т.д.). Первая из них — гораздо более урбанизированные территории, с большим развитием маятниковой миграции и низкой рождаемостью, следовательно, с более урбанизированной структурой занятости. Вторая — это районы “демографического взрыва”, большого прироста трудовых ресурсов и значительной доли имеющих сельскохозяйственные занятия. Труднее понять тесную близость Калмыкии, Ставрополя и Кабардино-Балкарии; а также резкие различия между Ставропольским и Краснодарским краями, да и Ростовской областью; здесь необходимы дополнительные исследования.

В целом отметим, что рис. 28 позволяет в большом ряде случаев более объективно оценить положение административно-территориальных единиц в той или иной их группировке, и, несомненно, данная карта полезна для решения многих задач географии сельской местности.

Следующая группа карт (рис. 29–36) посвящена сравнению административно-территориальных единиц России с какими-либо “типичными” областями. Поскольку выбор разнообразных типичных с разных точек зрения областей сама по себе непростая задача, нами предварительно была проведена типология областей для выявления среди них наиболее непохожих по структуре занятости. Для этой цели нами использовался алгоритм типологии, описанный в гл. II. Территориальными единицами-ядрами, вокруг которых формировались различные типологические группы, оказались Московская, Мурманская и Рязанская области, Дагестан, а также Краснодарский и Приморский края, к которым после экспертного анализа были добавлены Новосибирская и Новгородская области.

Начнем анализ с карты, представленной на рис. 29 и показывающей степень близости структур занятий сельского населения России по отношению к Московской области. Наиболее похожими на нее являются, с одной стороны, Ленинградская область, что вполне понятно, а с другой — уже отмеченные нами Владимирская и Калужская, части которых входят в зону влияния Москвы. Ивановская область уже гораздо менее похожа на “эталон” этой карты — Московскую область, так же как Ярославская и Костромская: в этом случае проявляется не столько территориальная близость к Москве, сколько степень урбанизированности. По этой же причине в категорию “схожих” попадают Свердловская область (наиболее урбанизированная в России после Московской и Ленинградской), а также две республики Северного Кавказа — Кабардино-Балкария и Северная Осетия. Их похожесть на Московскую область подтверждает тот вывод, который мы сделали на основе анализа предыдущей карты — о их роли как наиболее урбанизированных регионов Северного Кавказа.

Высокие положительные коэффициенты корреляции относительно просто интерпретируются — как “похожесть”. Гораздо сложнее обстоит дело с низкими, а также высокими отрицательными коэффициентами корреляции — в чем разница между ними? Высокий отрицательный коэффициент означает своего рода взаимное “зеркальное отражение” структур населения. Например, те занятия, которые в Московской области занимают большой удельный вес, в Саратовской составляют малую долю и наоборот. Поэтому значительные отрицательные коэффициенты корреляции с Московской областью, видимо, могут быть интерпретированы как принадлежащие “наиболее руральным” (наименее урбанизированным) областям. В это русло не совсем укладывается Дагестан, но в данном

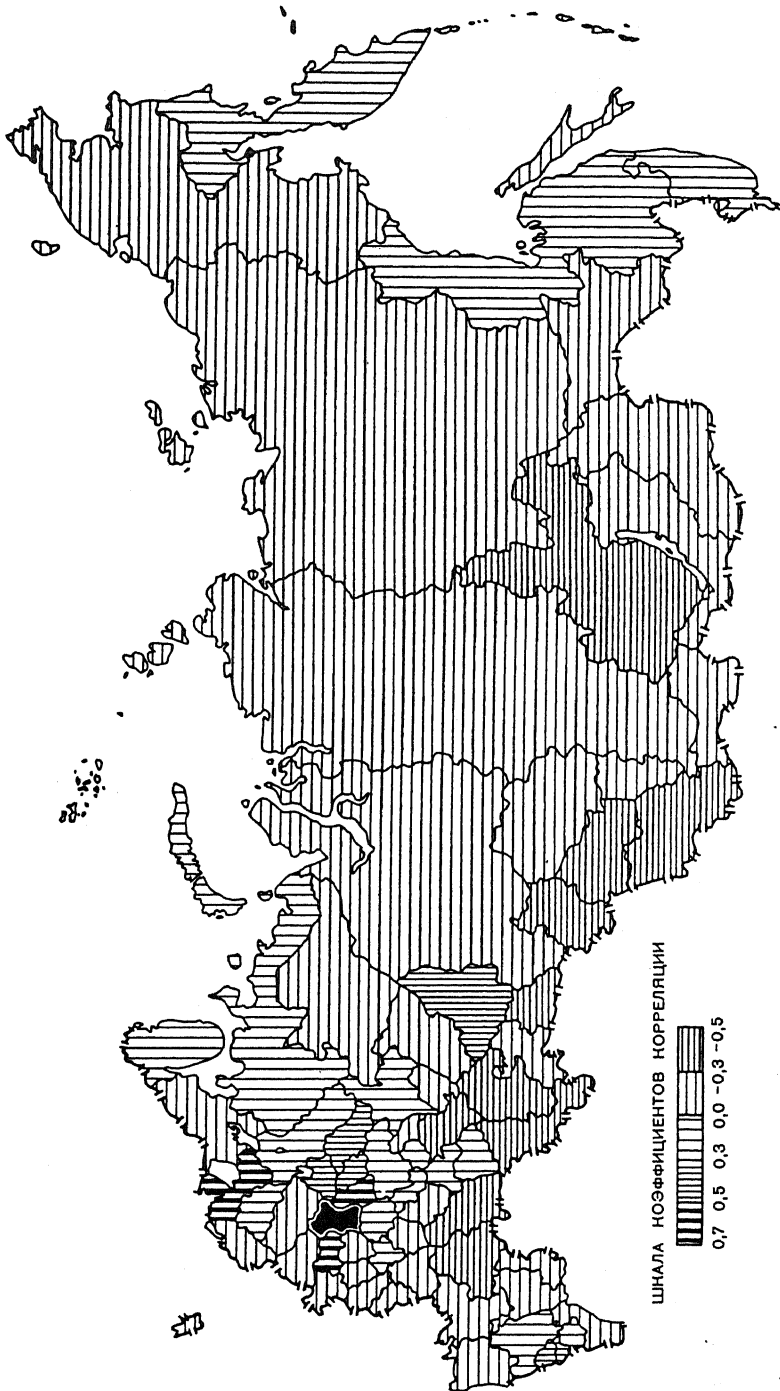


Рис. 29. Корреляция структуры занятий населения в сельских регионах административно-территориальных единиц России в сравнении с Московской областью

случае, возможно, сыграла роль этническая специфика этой республики (например, значительная доля занятых в ткачестве и ремесленном производстве среди сельских жителей и др.). Тогда наименее урбанизированными будут являться прежде всего степные районы — от Волгоградской области до Алтайского края (исключая Челябинскую область, которая хотя и очень похожа на Курганскую, но все же не может быть слабоурбанизированной из-за очень высокой доли городского населения). Их слабая урбанизированность (связанная в том числе и с редкой сетью городов и со слабой зависимостью от сел) не вызывает сомнений.

Интересно, что в эту же группу попадают Татария с Башкирией. В данном случае слабая урбанизированность сельской местности этих двух республик подтверждается данными криминальной статистики: и так при невысоком общем уровне преступности, в сельской местности этот уровень гораздо ниже, чем в городах. Обычно такая картина объясняется сильным влиянием ислама и сохранностью (неразрушенностью) сельского традиционного образа жизни. Последний фактор помогает понять и нашу карту: традиционный образ жизни может сохраниться лишь при условии консервации в основном и традиционной (т.е. неурбанизированной) структуры занятий.

Что касается малых коэффициентов корреляции, то, видимо, их можно интерпретировать как “непохожесть вообще”, и в данном случае на Московскую область подавляющее большинство территориальных единиц “непохоже вообще”, что и следовало ожидать.

На рис. 30 области России оценены по степени похожести на Рязанскую область. Традиционно Рязанская область считалась переходной: ее северная часть — Мещерская низменность — похожа на более северные лесные районы, а южная часть — это уже лесостепное Черноземье. Возможно, поэтому наиболее похожими на нее оказались, с одной стороны, Смоленская область, которую часто относят к типичному Нечерноземью, а с другой стороны, черноземные Орловская и Пензенская области. Менее сильные, но также положительные корреляции у Рязанской области, с одной стороны, со всеми областями Центрально-Черноземного района, а с другой — с Русским Севером. Интересно, что наиболее похожие области Сибири — это также включающие в свой состав “и лес и степь” — Омская и Новосибирская области.

Труднее объяснить “зеркальность” Ростовской области по отношению к Рязанской. По наиболее массовым видам занятий (ремонтники, механизаторы и др.) таких различий не обнаруживается; заметно лишь уменьшение в Ростовской области доли скотников и доярок и

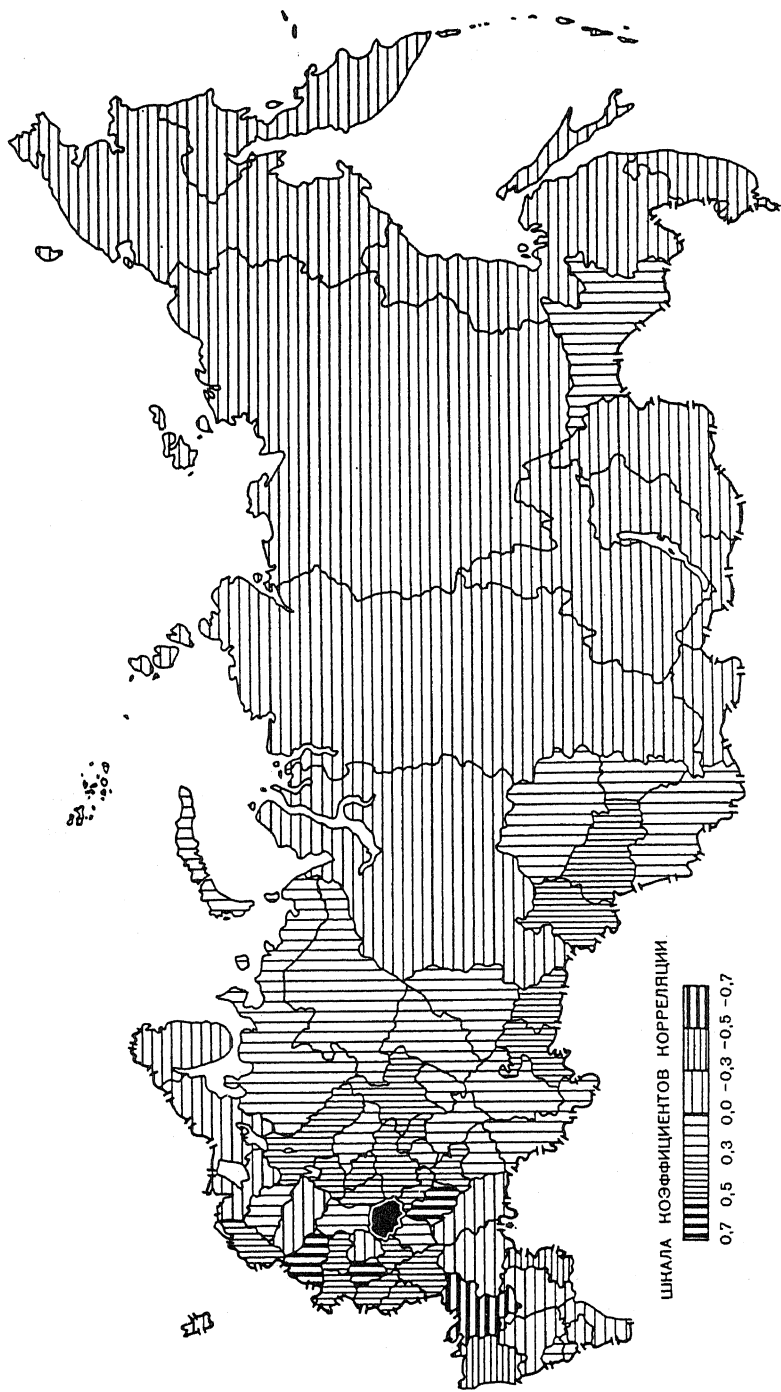


Рис. 30. Корреляция структуры занятых населения в сельских регионах административно-территориальных единиц России в сравнении с Рязанской областью

увеличение — пастухов и занятых в растениеводстве, что вполне естественно. Возможно, здесь также сказалось большое число менее массовых занятий, значение которых незаметно и сложно учитываемо при качественном географическом анализе.

Рис. 31 показывает регионы России “с точки зрения” Новгородской области. Самая похожая на нее — Костромская область (как мы помним, наиболее “северная” из областей Центрального района); чуть менее похожи территории Русского Севера (Карелия и Архангельская область), Ярославская, Калужская, Свердловская области. Похожесть на Свердловскую область можно объяснить распространенностью лесной промышленности (как и на Русском Севере), труднее понять общность с Калужской областью. Если более всего похож на Новгородскую область Русский Север, то зеркален должен быть Русский Юг. Как ни странно, такая простейшая логика здесь срывается. Именно русские районы Северного Кавказа (Краснодарский и Ставропольский края, Ростовская область) зеркальны по отношению к Новгородчине.

Рис. 32 показывает нам сельскую местность России по степени похожести на Краснодарский край. Более всего по структуре занятий он подобен наименее урбанизированным районам Северного Кавказа. Наименее похож этот представитель Русского Юга, естественно, на Русский Север и Сибирь, а также на ряд областей типичного Нечерноземья.

Рис. 33 показывает картину “с точки зрения” Дагестана, которая отображает как наиболее близкие к себе прежде всего Чечено-Ингушетию, а затем Краснодарский край. Наименее похожа из республик Северного Кавказа — Северная Осетия. Наиболее “зеркальна” по отношению к Дагестану Челябинская область, а также многие степные области и районы нового освоения с несельскохозяйственной занятостью.

Рис. 34 показывает близость сельских регионов России к Мурманской области, представляющей районы Крайнего Севера. Наиболее похожими оказываются в этом случае “рыбные” области Дальнего Востока: Камчатская, Сахалинская, Хабаровский край и в чуть меньшей степени — Приморский. Наименее похожа на юге Дальнего Востока — Амурская область как наиболее аграрная из них. Сложнее объяснить схожесть Томской области и Калининградской; в последней, видимо, сказывается развитие рыбной промышленности и морского транспорта, как, впрочем, и насыщенность воинскими частями, также усиливающими сходство с дальневосточными регионами.

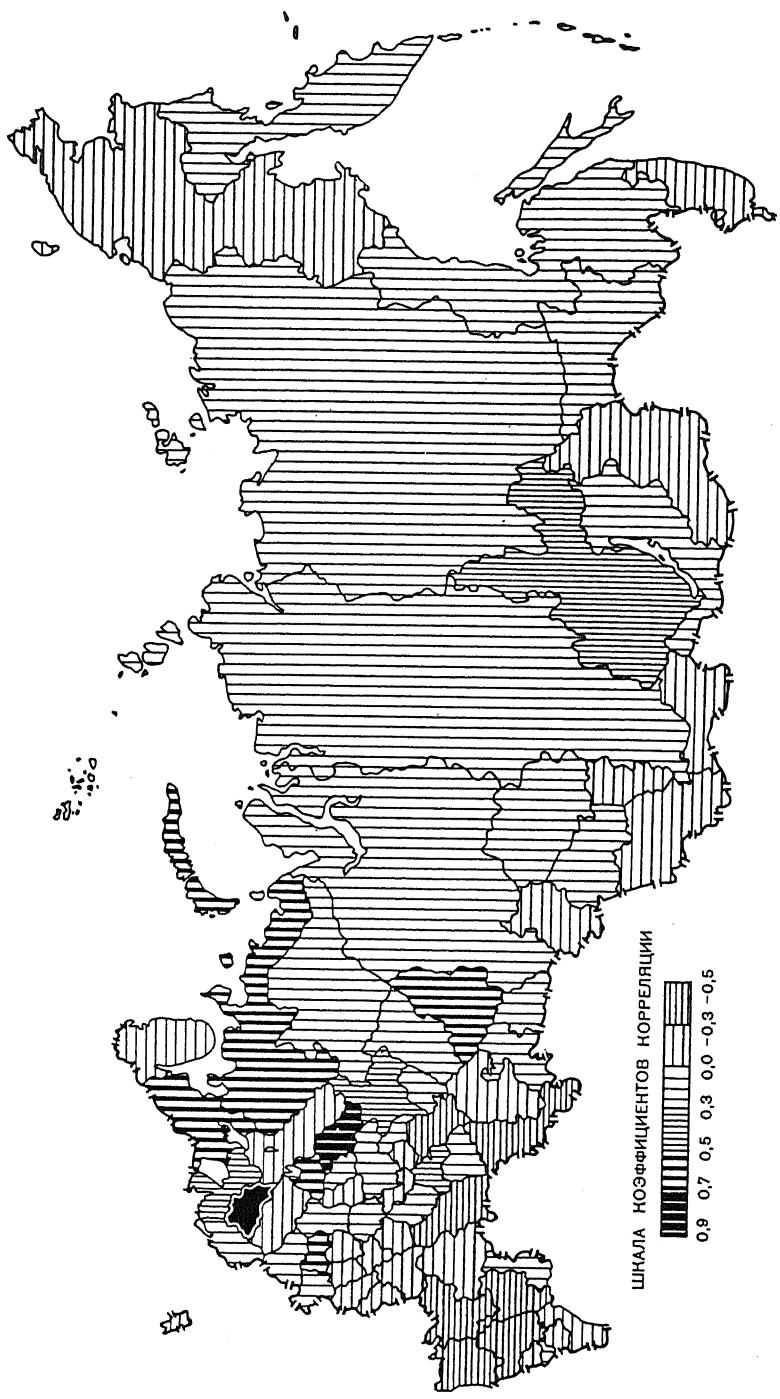


Рис. 31. Корреляция структуры занятых населения в сельских регионах административно-территориальных единиц России в сравнении с Новгородской областью

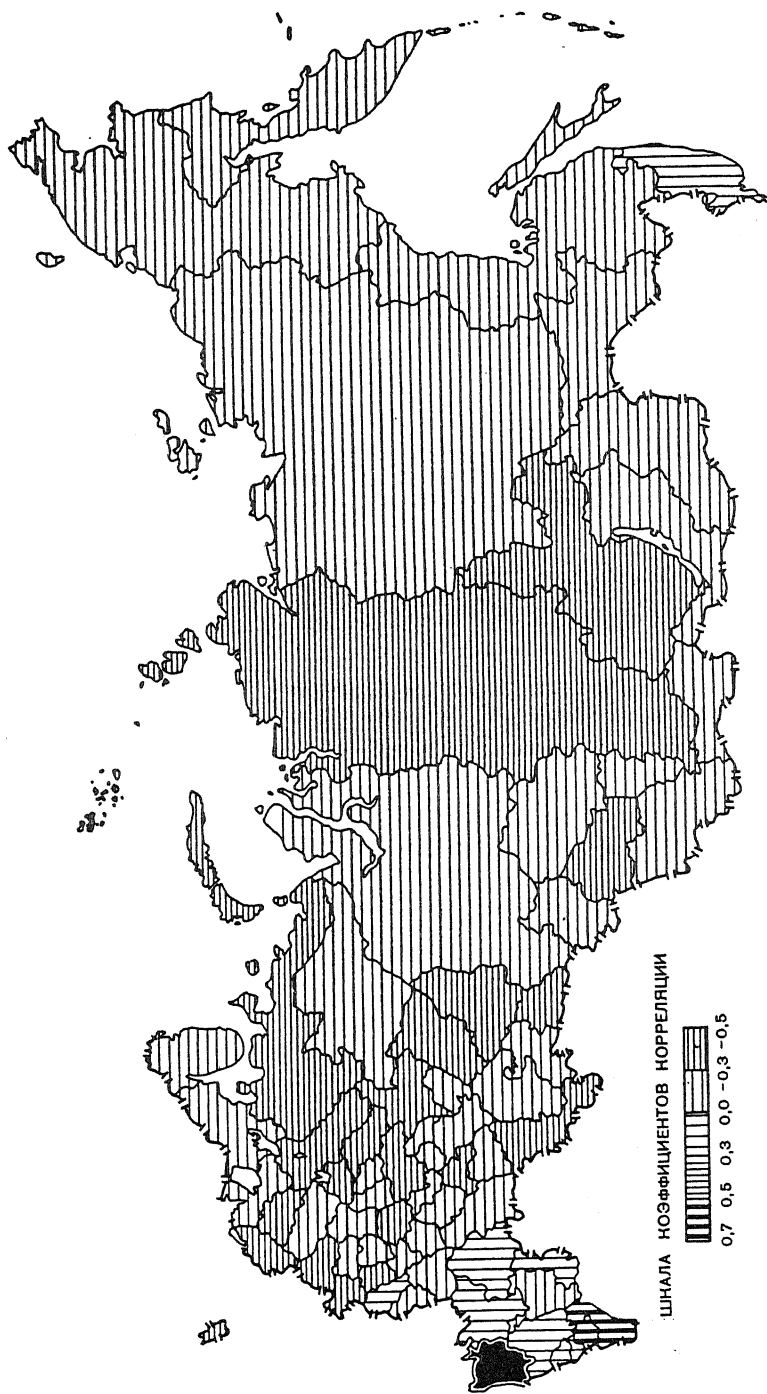


Рис. 32. Корреляция структуры занятости населения в сельских регионах административно-территориальных единиц России в сравнении с Краснодарским краем

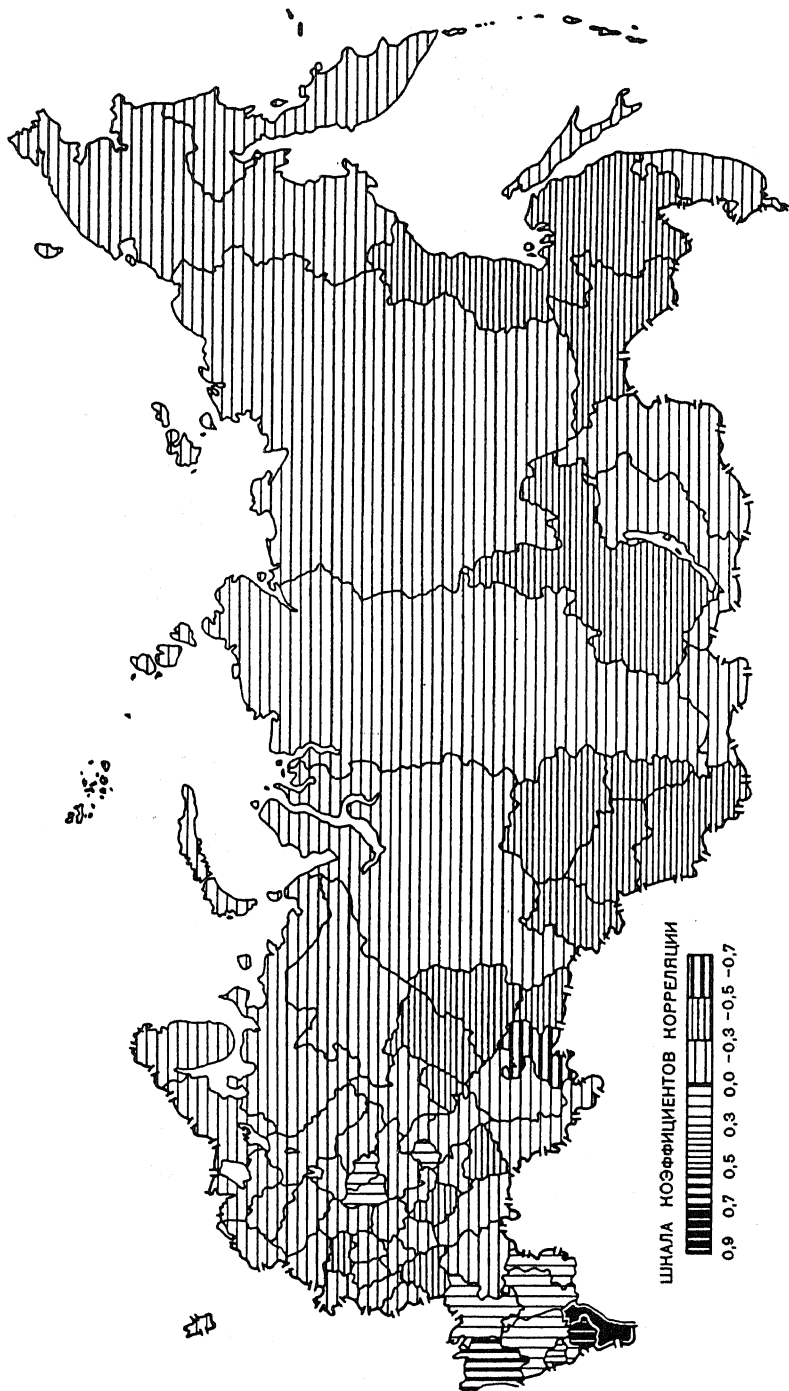


Рис. 33. Корреляция структуры занятых населения в сельских регионах административно-территориальных единиц России в сравнении с Дагестаном

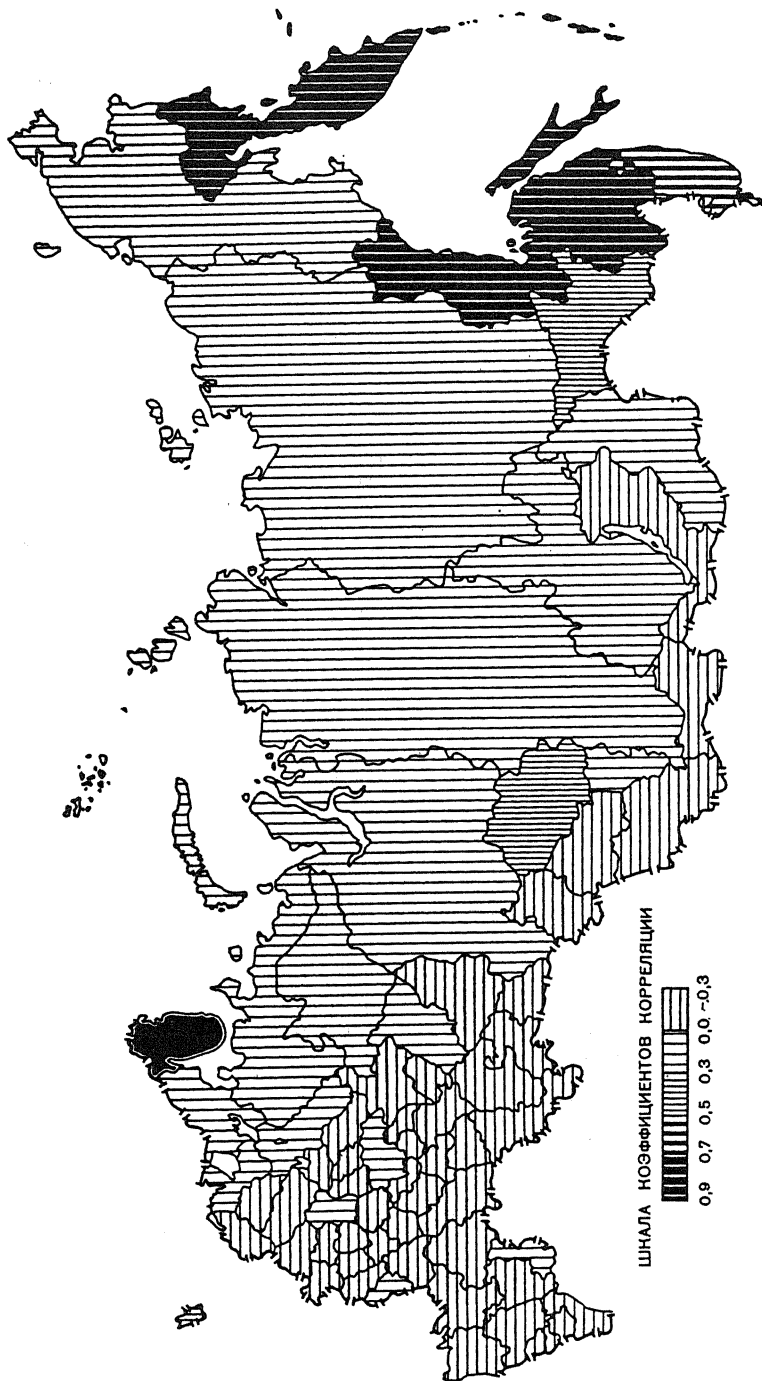


Рис. 34. Корреляция структуры занятий населения в сельских регионах административно-территориальных единиц России в сравнении с Мурманской областью

Похожесть на Новосибирскую область (рис. 35) демонстрируют прежде всего Челябинская, Курганская, Омская области и Алтайский край, что подтверждает наше предположение об однородной полосе от Южного Урала до Алтая. Менее понятна похожесть Воронежской, Белгородской и Смоленской областей. Если для областей Центрального Черноземья можно найти некоторые объяснения, например, зерновой специализацией, “аграрностью” сельской местности, то для Смоленской области это сделать сложнее. Причем заметим, что Смоленская область часто выделяется при разных вариантах нашего анализа (на рис. 28 она почти изолирована от соседей) и, видимо, требует более детального рассмотрения.

Наиболее “зеркальны” для Новосибирской области урбанизированные регионы (Московская, Ленинградская области), что подтверждает наше представление о слабоурбанизированном характере регионов юга Сибири. Но с другой стороны, “зеркален” почти весь Северный Кавказ, так что, видимо, среди слабоурбанизированных районов должны быть выделены, как минимум, два совершенно разных типа — “кавказский” и “сибирский”. Это требует в свою очередь более тщательного анализа связи структур занятости с процессами урбанизации сельской местности.

Похожесть на Приморский край (рис. 36) максимальная, естественно, у Хабаровского края, чуть меньше у Сахалина и Мурманской области. Заметим, что “рыбные и военные” Камчатская и Калининградская области уже менее похожи, эти отрасли занимают относительно меньшую долю в Приморском крае. Он более аграрный и лесопромышленный, что и показывает похожесть на Томскую и Амурскую области. И снова единственный пример заметной отрицательной корреляции — “таинственная” Смоленская область.

Не имея возможности анализировать все 71 аналогичные карты, укажем лишь еще на Туву, территорию, практически ни разу не встречавшуюся нам при анализе, но тем не менее не похожую на соседей. В данном случае результаты оказались просто классическими. Наибольшие положительные коэффициенты отмечены у Тувы с Калмыкией (0,817), Читинской областью (0,674), Бурятией (0,616) и Ставропольским краем (0,583) как с регионами, где в наибольшей степени развито пастбищное животноводство, а также с имеющими эту же отрасль специализации Волгоградской (0,483) и Саратовской (0,477) областями. Высокие отрицательные коэффициенты корреляции отсутствуют.

Наконец, две последние карты посвящены сравнению административно-территориальных единиц со “средними” показателями для

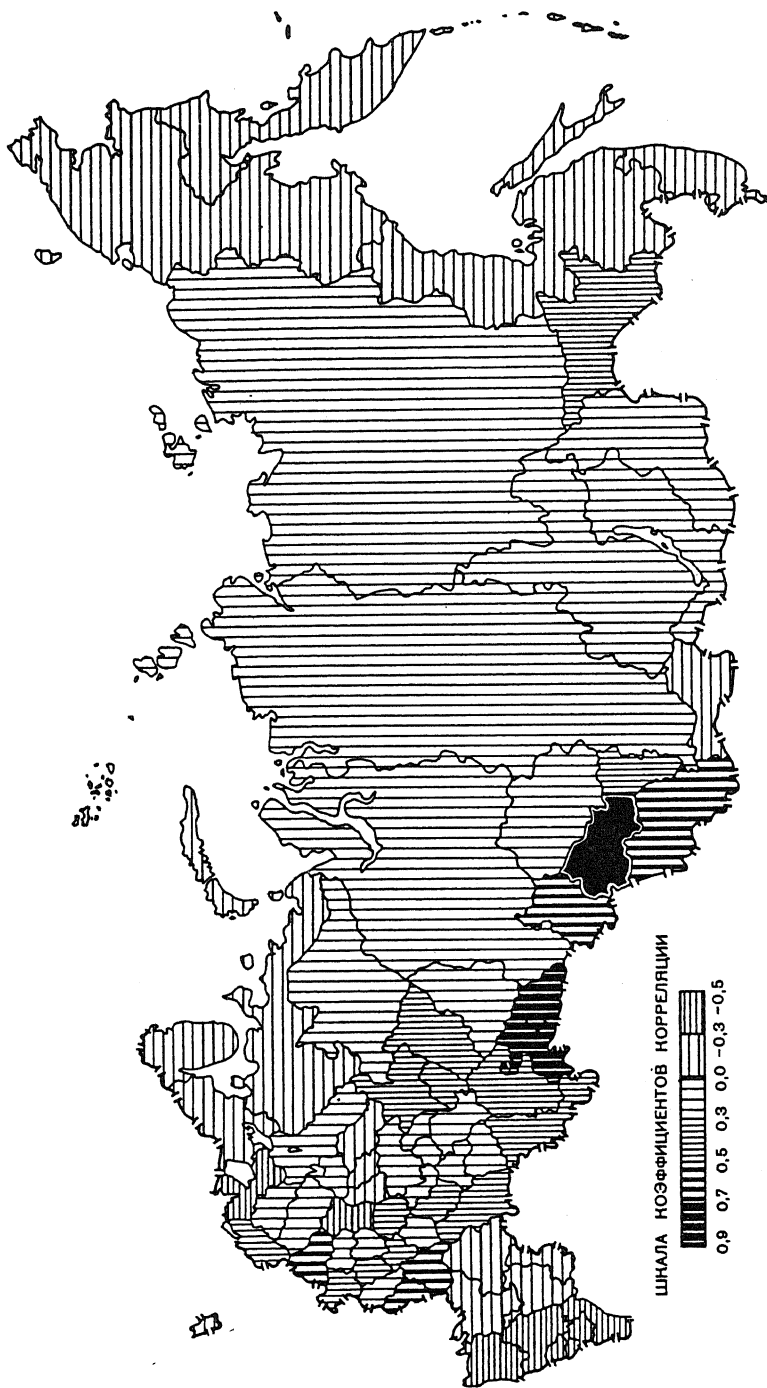


Рис. 35. Корреляция структуры занятых населения в сельских регионах административно-территориальных единиц России в сравнении с Новосибирской областью

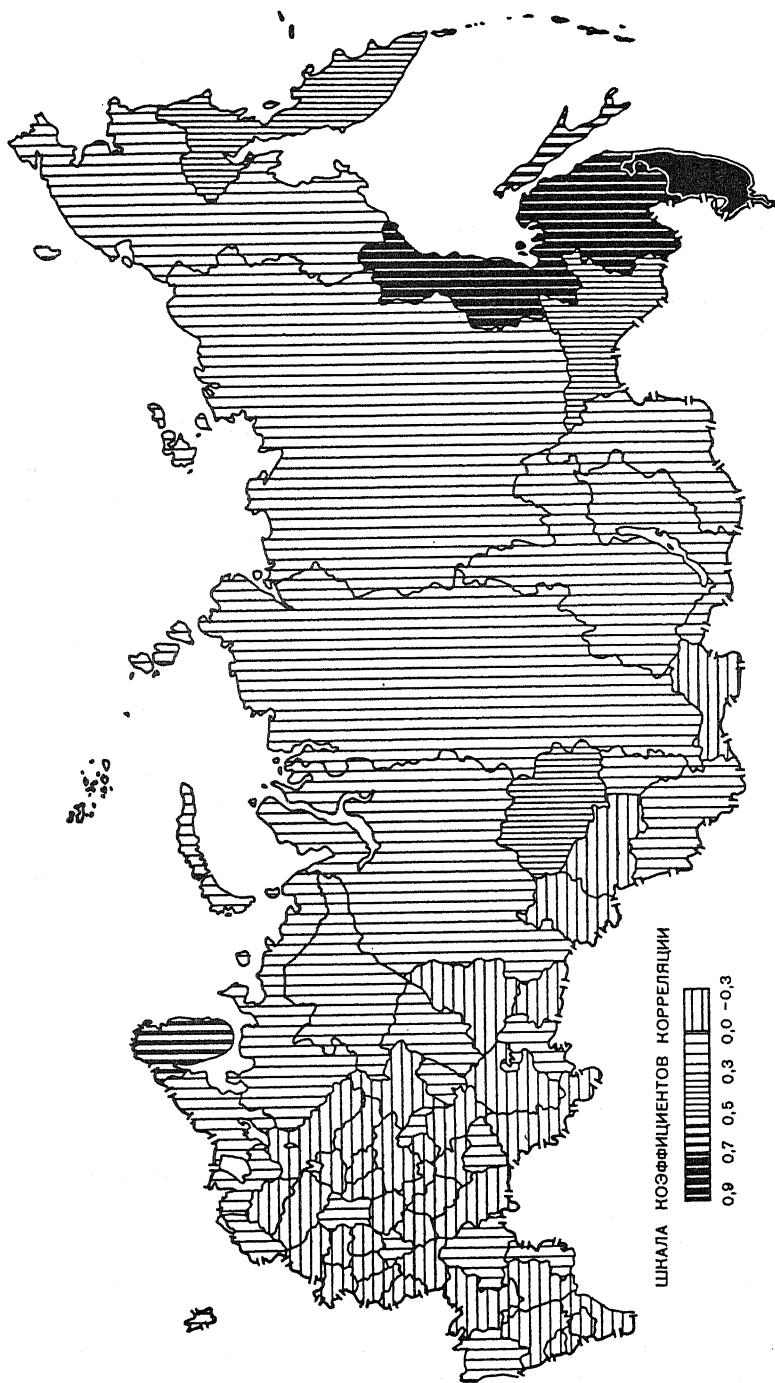


Рис. 36. Корреляция структуры занятий населения в сельских регионах административно-территориальных единиц России в сравнении с Приморским краем

Дальневосточного экономического района (рис. 37) и для европейской части России (рис. 38). Наиболее “среднедальневосточными” оказались Хабаровский край, а также Сахалинская и Тюменская области, чуть менее близкими — остальные области Дальнего Востока, а также уже знакомые нам Мурманская и Томская области (в последнем случае, наверняка, сыграло роль развитие лесной промышленности). Интересно, что в данном случае выделилась Астраханская область (здесь имеет значение рыбная промышленность и транспорт) и снова Калининградская.

Наиболее “среднеевропейскими” оказались в Центральном районе Московская, Владимирская и Ивановская области (а единственной областью Центра, имеющей отрицательную корреляцию, снова оказалась Смоленская). В Центрально-Черноземном районе “наиболее средними” стали Курская и Тамбовская, до сих пор не замеченные ни в одном из наших анализов, видимо, типичные “середнячки”. А Северный Кавказ почти весь (кроме Ростовской области) оказался “среднеевропейским”. Последнее, возможно, объясняется тем, что произошедший за советский период “сдвиг на юг” сельского населения привел к тому, что доля Северного Кавказа в сельском населении европейской части России стала определяющей, и “среднеевропейские” показатели превратились в “среднекавказские”. Наименее “европейскими” в европейской части стали северные районы, а “зеркально неевропейскими” — регионы Сибири, Дальнего Востока и примкнувшая к ним Свердловская область (как лесопромышленная).

Заметим также, что серия корреляционных карт может быть еще расширена. Например, можно рассчитать коэффициенты корреляции для административно-территориальных единиц по отношению не только к “областям-ядрам” типологических групп, как было описано выше, но и к самим типологическим группам, осредняющим данные по всем областям, вошедшим в ту или иную из них. Такой прием использован для корреляции между динамическими рядами урожайности картофеля по областям европейской части России (см. параграф V.3, с. 216–231). В целом же следует отметить, что использованный метод существенно расширяет наши возможности при сравнении регионов, позволяет уточнить устоявшиеся взгляды, а в ряде случаев и сделать новые выводы.

При создании корреляционных карт следует учитывать характер взаимосвязи исследуемых величин и надежность коэффициентов корреляции. Для этого удобно применять специальные графики и математические расчеты. В наших примерах коррелируемые ряды, как правило, линейно взаимосвязаны, поэтому не было необходи-

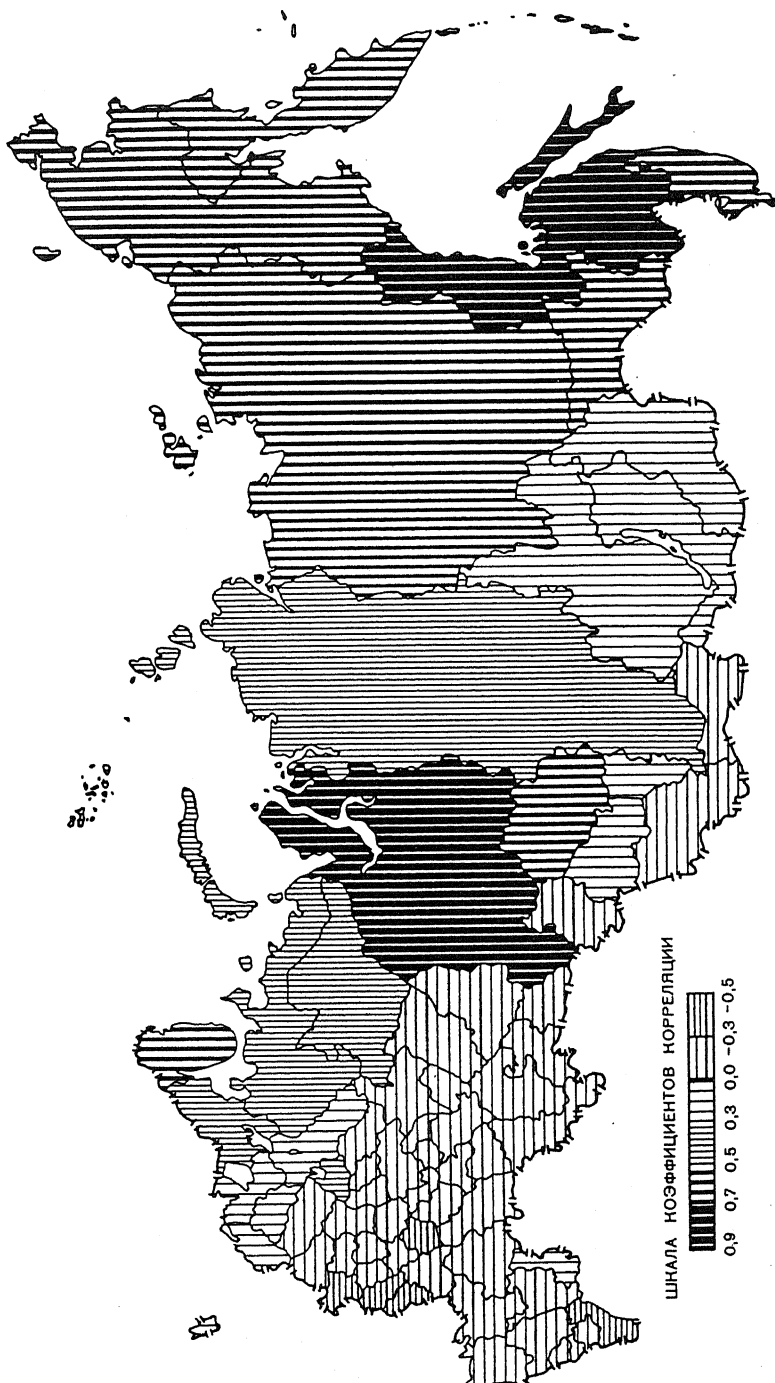


Рис. 37. Корреляция структуры занятости населения в сельских регионах административно-территориальных единиц России в сравнении с Дальневосточным экономическим районом

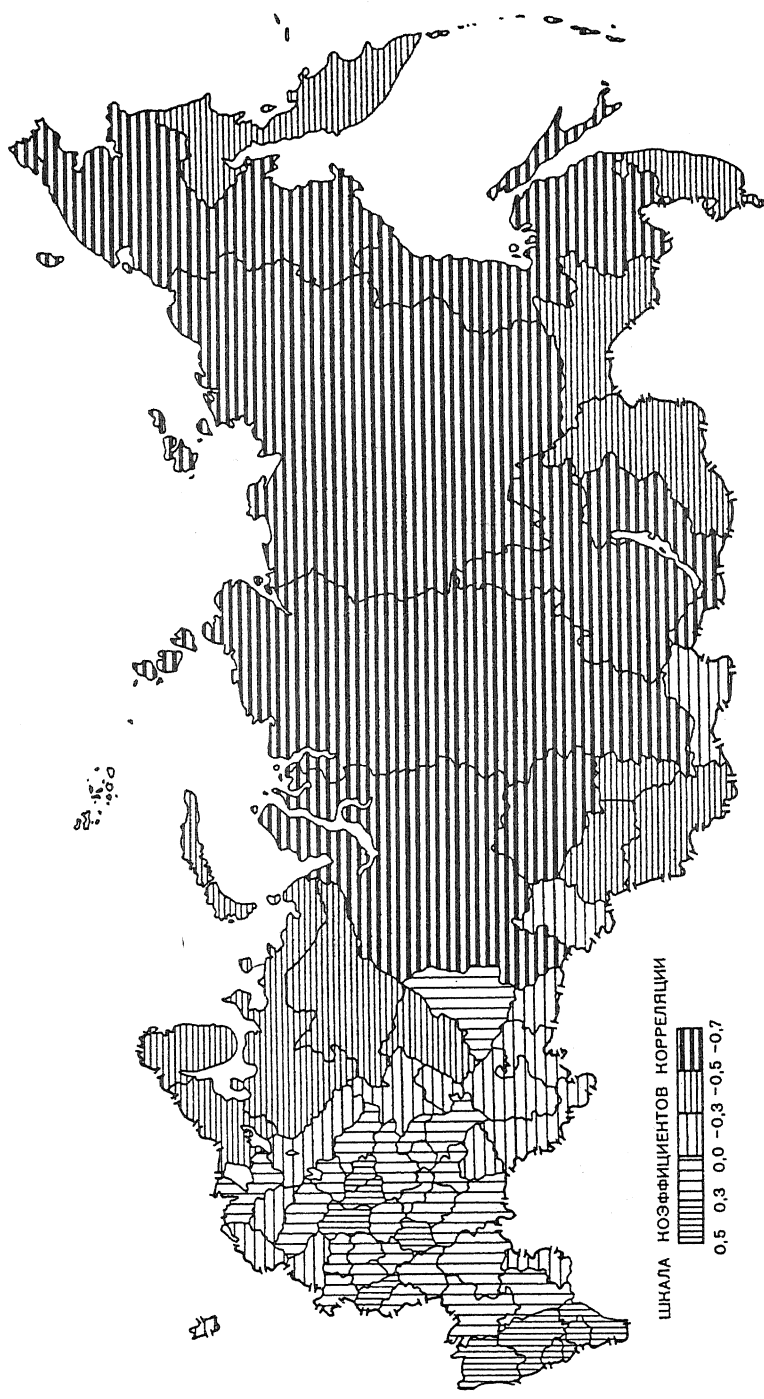


Рис. 38. Корреляция структуры занятий населения в сельских регионах административно-территориальных единиц России в сравнении с европейской частью России

мости в их дополнительной линейаризации. В противном случае можно использовать методику выравнивания и нормализации корреляционных связей (Алексеев, 1971). Надежность коэффициентов корреляции проверяется по формуле

$$\sigma_r = \pm \frac{1 - r^2}{\sqrt{n - 1}}, \quad (3.9)$$

где r — величина коэффициента корреляции, а n — длина ряда.

В случаях, когда распределение исходных данных отлично от нормального и имеет достаточно явную асимметрию, вместо формулы (3.9) можно использовать другой критерий:

$$\sigma_r = \frac{r}{\sqrt{1 - r^2}} \sqrt{n - r}. \quad (3.10)$$

При таком подходе коэффициенты корреляции, превышающие значение 0,150, считают существенными (Богданович, Максимов, 1973). Поскольку в наших примерах использовались довольно длинные статистические ряды, корреляционная связь в большинстве случаев оказалась достоверной.

Однако в случае использования более коротких рядов или при уменьшении значений величин коэффициентов корреляции применение Q -схемы может оказаться невозможным, так как для подавляющего числа случаев может быть, что $r < |3\sigma_r|$. Второе ограничение, которое накладывает применение данной схемы, — это необходимость использования лишь моноструктурной многомерной информации. Эти ограничения отсутствуют в случае применения в качестве меры связи рядов исходных показателей евклидовых расстояний. Поэтому они использовались в последующих двух примерах. В первом случае замена корреляций евклидовыми расстояниями обосновывается слишком короткими длинами рядов, а во втором использованием полиструктурной многомерной информации.

III.2.2. Таксономические модели взаимосвязей содержательных характеристик явлений

Первая задача по моделированию взаимосвязей содержательных характеристик явлений решалась на материалах по США (Смирнягин, Тикунов, 1982). За исходные территориальные единицы были взяты так называемые “узловые функциональные районы”, которые

выделяются официальной статистикой США в виде зон тяготения главных городов страны (в основном по данным о трудовых маятниковых поездках и по сетке графств — низовых единиц административно-территориального деления). По каждому 181-му узловому району были взяты официальные данные на 1976 г. о структуре заработной платы местного самостоятельного населения, работающего по найму, в разрезе 14 секторов экономики (Local area..., 1978). Эти сектора таковы: сельское хозяйство; рыболовство и лесное хозяйство; горнодобывающая промышленность; обрабатывающая промышленность с подразделением на производство товаров длительного и недлительного пользования; подрядное строительство; транспорт; торговля с подразделением на оптовую и розничную; финансы; частные услуги; государственные органы местные и федеральные (с подразделением на гражданские и военные). В своем комплексе эти показатели достаточно точно отражают отраслевую структуру местной экономики.

Задача заключалась в том, чтобы найти сходство или различие в отраслевой структуре каждой пары соседствующих узловых районов (таких пар 417) и описать меру этого различия характеристикой границы между ними. Подобная мера понималась как евклидово расстояние между отраслевыми структурами в 14-мерном признаковом пространстве (отметим, что в географии модели, построенные с их использованием, часто называют таксономическими). Чем больше это расстояние, тем сильнее различия между узловыми районами по отраслевой структуре и наоборот. Для вычисления матрицы евклидовых расстояний реализовались следующие блоки.

1. Нормировка исходных показателей. Так как все 14 показателей-индикаторов выражаются в соизмеримых величинах (долларах), то было достаточно подсчитать процент каждого из показателей по отношению к их суммарной величине для каждого из узловых районов. Это позволило в определенной мере устранить разномасштабность показателей, зависящую от абсолютных размеров заработной платы по районам.

2. Ортогонализация и “свертка” исходной информации. Для этих целей была использована стандартная процедура компонентного анализа. Данный блок необходим для последующего расчета расстояний в многомерном компонентном пространстве исходных показателей.

3. Вычисление и картографирование евклидовых расстояний между исходными узловыми районами в пространстве ортогонализованной системы исходных показателей. Это позволяет в интеграль-

ной форме выразить различия между районами по всему комплексу показателей.

Расчет расстояний по каждому из районов приводит к образованию симметричной матрицы с нулевыми элементами на главной диагонали, размерностью 181×181 . Информация данной матрицы достаточна для создания целого ряда карт. Так, если закартографировать расстояния между соседними узловыми районами, отбрасывая границы между ними линиями, толщина которых будет символизировать величины евклидовых расстояний, то полученная карта в целом будет отображать различия отраслевых структур данных районов.

Обработка материалов по США дала следующие результаты (рис. 39). Контрастности границ между соседствующими узловыми районами (т.е. различия в отраслевых структурах их хозяйств) оказались весьма невысокими. В среднем для всех 417 пар соседствующих районов евклидово расстояние составило всего 0,19. Это в полтора раза меньше, чем среднее расстояние (0,33) между всеми парами районов, как соседствующих, так и несоседствующих (т.е. в матрице 181×181 без учета главной диагонали). Из 417 границ между узловыми районами лишь две имели значения 0,5 и более; значения около 0,4 имели всего 8 границ, а значения 0,3 — еще 52 границы. Иными словами, только 1/7 всех границ оказались существенными рубежами, фиксирующими значительные различия в отраслевых структурах хозяйств соседствующих районов. В дальнейшем будем называть границы со значениями в 0,2 и выше (т.е. больше среднего уровня) границами-рубежами, которые разделяют соседствующие узловые районы, а границы со значениями около 0,1 — “слабыми” границами, которые свидетельствуют скорее о сходстве соседних узловых районов.

Низкая контрастность границ затрудняет содержательную интерпретацию получаемых результатов. Однако она имеет, по-видимому, объективные причины, а вовсе не порождена несовершенством избранного метода. Судя по этим результатам, в США межрайонные различия в хозяйственных локальных структурах выглядят сглаженными из-за плавности пространственных переходов от одного типа структур к другому. Узловые районы с наиболее яркими, контрастными типами хозяйственных структур в США обычно не соседствуют, а разделены совокупностями промежуточных по типу районов, по которым один тип переходит в другой довольно плавно, не создавая особо резких рубежей на межрайонных границах. Подобная информация достаточно ценна сама по себе, чтобы оправдать построение данной карты.

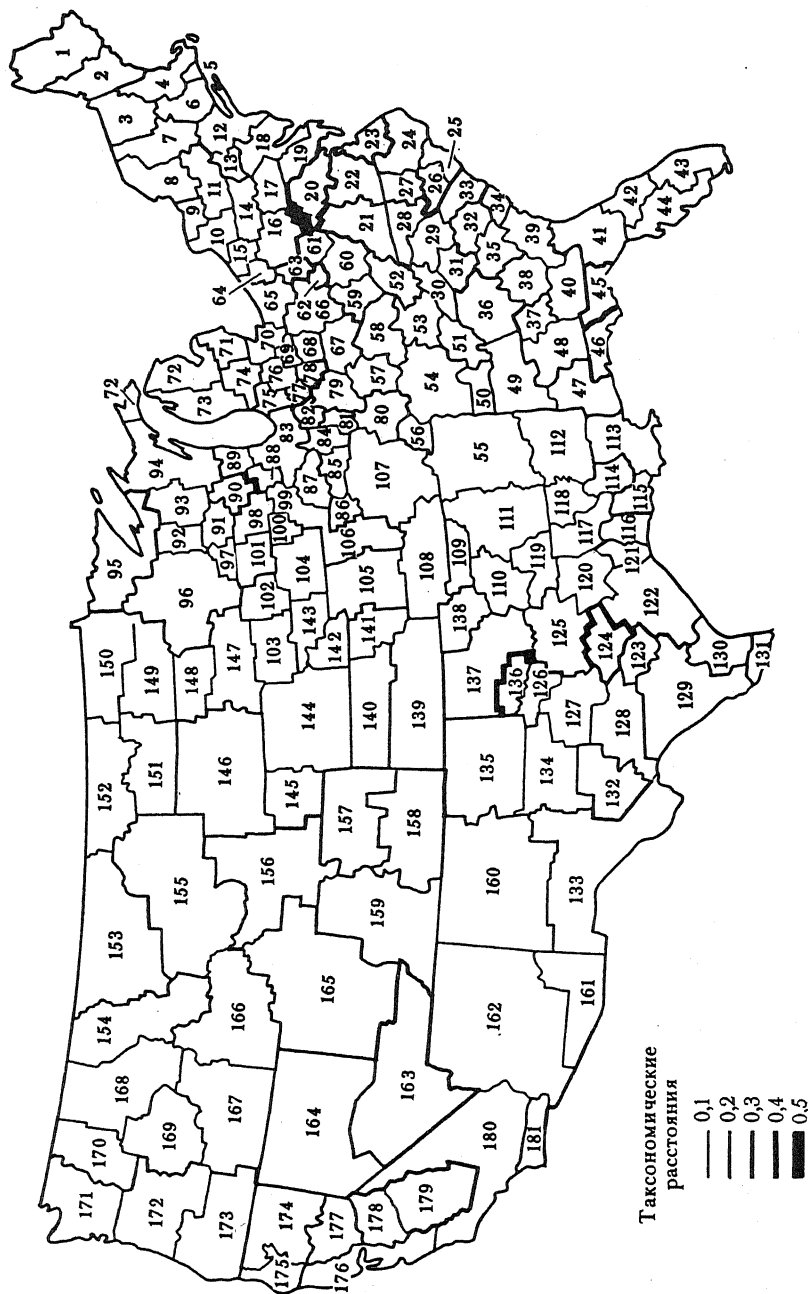


Рис. 39. Контрастность границ между соседними узловыми районами США

Рисунок, создаваемый границами-рубежами, оказался довольно запутанным и неупорядоченным. Здесь лишь изредка образуются цепи по 10–15 границ, притом почти всегда это границы с низкими значениями. Много получилось “островов” (один-два района, окруженные границами-рубежами), которые сложны для анализа. Резкие же рубежи (границы со значениями в 0,3 и более) вообще почти полностью фрагментарны. Едва ли не все случаи их появления связаны с особо специфическими районами.

Так, очень резкие рубежи у района 20 (см. рис. 39), прежде всего потому, что здесь расположен Вашингтон с его уникальными столичными функциями. Резкие рубежи у близлежащего района 23 объясняются его гипертрофированными транспортными функциями (местный Ньюпорт-Ньюс — крупнейший в мире угольный порт); у района 46 — наличием огромных объектов министерства обороны; у района 95 — тем, что это крупнейший в стране район по добыче и отправке железорудного сырья, из-за чего здесь существенна роль добывающей промышленности и транспорта; у района 163 — его уникальной ролью “игорной столицы” США, где тысячи людей тратят деньги, заработанные в других районах (это придает местной хозяйственной структуре резкую специфику).

В таких случаях, как с районами 62, 63 или 181, причина контрастности границ прежде всего зависит от небольших размеров этих районов, которые сводятся практически к единичным крупным городам. Их специфика гораздо легче проявляется в районной структуре, чем в крупных по размерам районах. Резкие рубежи района 124 объясняются специфичностью не его самого, а соседних с ним районов, которые являются зонами тяготения двух крупнейших агломераций Юга — Далласа—Форт-Уэрта (125) и Хьюстона (122).

В целом полученные результаты не дают прямых указаний на то, где именно располагаются границы между районами более высокого порядка, чем узловыe районы. Если говорить о границах между тремя традиционными регионами США (Севером, Югом и Западом), то на рис. 39 отчетливо прослеживается лишь граница Запада, да и то не вся: она размыта в северной части, т.е. как раз там, где проведение границы Север—Запад вызывает обычно наибольшие трудности. Полученный материал не смог помочь в решении этой старинной проблемы районирования США. Правда, граница Юг—Запад фиксирована хорошо и весьма информативна: она указывает на то, что район Эль-Пасо (133) следует относить к Западу, а восточные окраины штата Нью-Мексико — к Югу. Однако граница Север—Юг

практически вовсе не просматривается (за исключением отрезков в Канзасе и у Вашингтона).

Необходимо, однако, снова подчеркнуть, что невыраженность границы Север—Юг связана скорее не с пороками избранного метода, а с реальной ее расплывчатостью — той расплывчатостью, которая, по-видимому, нарастает с годами, особенно в ходе индустриализации Юга и миграции негров на Север. В центре, в пределах штата Миссури, эта граница размыта уже давно — “языки” Юга проникают здесь на север так далеко, что северо-восточная часть штата носит местное название “Литл-Дикси” в подражание Глубокому Югу.

Восточнее эту границу принято проводить по р. Огайо, которая для узловых районов служит не рубежом, а осью, так что их границы не следуют этой реке, а пересекают ее. Эти районы, оседлавшие традиционную границу Север—Юг, несут в себе многие черты и Севера и Юга, что делает их переходными, вряд ли поддающимися однозначному отнесению их либо к Югу, либо к Северу. Если уж делать подобный выбор по полученным результатам, то конфигурация границ-рубежей позволяет сказать, что в районах Мариетты (62) и Цинциннати (67) граница Север—Юг может быть отнесена южнее р. Огайо, а в районе Луисвилла (57) — севернее этой реки.

Более детальный анализ результатов позволяет обнаружить и другие весьма ценные сведения. Они либо подтверждают те представления о районировании США, которые уже сложились, либо проясняют некоторые спорные моменты, либо (что особенно важно) дают основание для новых суждений. Карта позволяет делать подобные суждения на основании не только границ-рубежей, которые разделяют исходные районы, но и “слабых” границ (со значениями около 0,1), которые говорят о том, что различия между соседними исходными районами сравнительно невелики и что их можно объединять в один район более высокого ранга.

К числу таких подтверждений можно отнести примечательное отсутствие межрайонных различий на полуострове Флорида, вдоль верхней Миссисипи и на Северо-Востоке; наличие рубежа между Кливлендом и Питтсбургом, который обозначает раздел между Северо-Востоком и Северным Центром; выраженность рубежей Пидмонта. Спорный вопрос о том, куда относить Аризону и Нью-Мексико — к Югу или Западу, карта позволяет решить в пользу Запада, потому что эти штаты отделены явными рубежами от Техаса, а не от Калифорнии.

Из новых моментов можно отметить следующее. Вокруг Нижней Миссисипи простирается обширная совокупность узловых районов, весьма сходных по хозяйственным структурам. Простирание ее до самого Чикаго спорно, но включение в нее районов от Алабамы до Далласа и от Нэшвилла до Талсы выглядит весьма обоснованным. На карте отчетливо видно, что Тихоокеанский Северо-Запад, который обычно выделяется в составе штатов Вашингтон и Орегон, явно распадается на две части, между которыми рубежи довольно резки. Внутри каждой из частей различия практически отсутствуют: это приморская часть (три района) и более обширная восточная часть, которую в исторической географии называют “Иннер Импайр”. Интересный рубеж намечен в центре Приозерья — от Чикаго к Цинциннати (особенно резкий между районами 82 и 77; 78 и 79). Он позволяет разделить Приозерье на две части, существенно различные по характеру экономики. В западной части можно отметить преимущественное производство товаров недлительного пользования (благодаря специализации на пищевой промышленности), а в восточной — длительного (прежде всего машиностроения).

Весьма информативен показатель частоты встречаемости границ-рубежей. Он явно повышен в Техасе, Оклахоме, в центре Горного Запада, на Юго-Востоке. Здесь границы узловых районов втрое чаще оказываются рубежами, чем в среднем по стране. Это свидетельствует о сильной раздробленности, пространственной дифференциации хозяйственной деятельности внутри данных частей страны. Повидимому, здесь районы должны быть мельче, чем в других частях страны, чтобы отразить эту дифференциацию. Напротив, в обширной полосе, пересекающей страну с севера на юг примерно по середине, границ-рубежей сравнительно мало. Значит, дифференциация здесь особенно сильно сглажена, и районы могут быть существенно крупнее. Примечательно, что в этой полосе немало границ-рубежей широтного простираения, которые в данной части страны мало пригодны для экономического районирования более высоких рангов. Вероятно, они отражают некоторые внутренние различия.

Следует учитывать, что яркость получаемых результатов, их упорядоченность сильно зависят от специфики изучаемого региона — от того, насколько характерны для нее контрастность соседствующих хозяйственных структур, упорядоченность дифференциации и т.п. Это подтверждается более резкой контрастностью границ в следующем эксперименте по картографированию взаимосвязей отраслевых

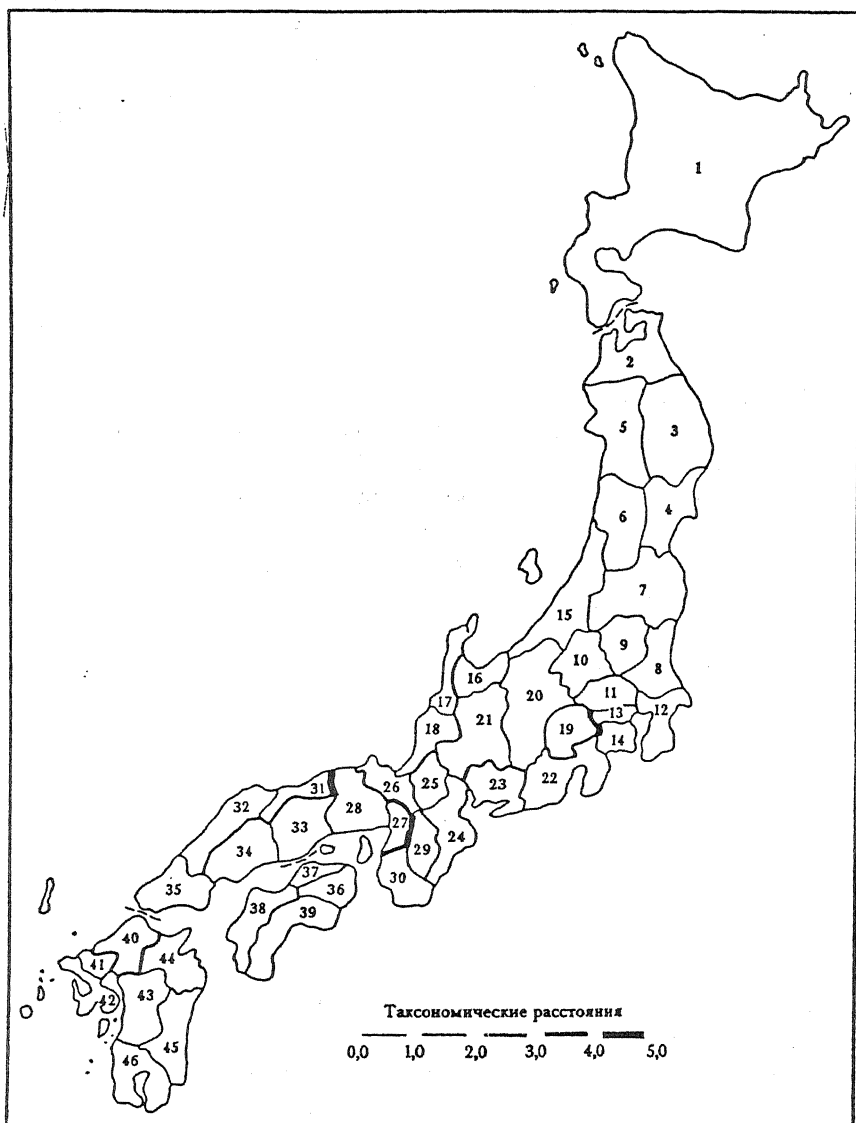


Рис. 40. Контрастность границ между соседними префектурами Японии (цифрами обозначены номера префектур, согласно табл. 4)

структур промышленности Японии. Опыт создания модели взаимосвязей содержательных характеристик явлений на основе материалов по США показал, что даже здесь, где контрасты между типами хозяйственных районных структур сильно слажены, удастся получить результаты, несомненно, обладающие полезностью и

дающие хорошую основу для подтверждения имевшихся предположений, уточнения спорных вопросов или выработки новых гипотез о характере границ между районами.

Во втором примере использование евклидовых расстояний в качестве меры сходства отраслевых структур обрабатывающей промышленности по префектурам Японии обосновывается разнородностью (полиструктурностью) многомерной информации (Росин, Тикунов, 1982). Данная модель близка к описанной выше, и поэтому укажем лишь, что карты, отображающие евклидовы расстояния, могут кроме всего прочего характеризовать также степень внутренней однородности территориальных единиц, входящих в таксоны, выделяемые с помощью разнообразных многомерных математических моделей. Так, описанные в параграфе VII.2 карты оценки уровней развития отраслей обрабатывающей промышленности (см. рис. 86) при их исследовании совместно с картой евклидовых расстояний между соседними префектурами (рис. 40), позволяют более полно оценить схожесть или, наоборот, степень различия между соседними префектурами, входящими в один таксон. Это дает возможность не только характеризовать исходные территориальные единицы, но и свидетельствует в какой то мере даже о качестве классификации.

III.2.3. Модели взаимосвязей содержательных характеристик явлений по качественным показателям

Модели данного параграфа иллюстрируют возможности исследования взаимосвязей содержательных характеристик явлений на примере анализа активности очагов зооноза, заимствованного нами из работы (Глушко, Малхазова, Тикунов, 1992). Исследуемая территория — пустыня Кызылкум. Здесь регистрируются интенсивные эпизоотии чумы, контроль за которыми систематически проводится рядом противочумных станций, начиная с 1948 г. Детальный экологический анализ эпизоотий чумы среди грызунов в Кызылкумском природном очаге, обобщающий многолетнюю работу в этом регионе, приведен в работе Ю.З. Ривкуса с соавторами (1985), на данных которого базируется данное исследование.

На первом этапе работы по имеющимся исходным картам эпизоотий, созданным для каждого года в период с 1948 по 1982 г., составлены суммарные карты отдельно для весеннего и осеннего сезонов. На них вся информация согласно методике паспор-

тизации природных очагов чумы представлена по сети квадратов 40×40 км на местности (Ривкус и др., 1985) в масштабе $1 : 4\,000\,000$. Квадрат считался энзоотичным, если в его пределах в какой-либо год обнаружен возбудитель болезни. Суммарные карты отражают, таким образом, помимо кружева ареала частоту проявления эпизоотий на территории за анализируемый более чем 30-летний период.

Эти карты были необходимы для последующего выбора ключевых участков с различной ландшафтной структурой для изучения на их фоне динамики эпизоотий чумы. В качестве ландшафтной основы использовалась схема дешифрирования современных ландшафтов пустыни Кызылкум (рис. 41), созданная Е.В. Глушко по черно-белым и спектрзональным мелкомасштабным фотоснимкам масштаба $1 : 2\,400\,000$ с пространственным разрешением 70 м, полученным с орбитальных станций "Салют-4" в 1975 г., "Салют-6" в 1978 и 1980 гг., "Салют-7" в 1983 г., а также с ИСЗ "Ресурс-Ф" в масштабе $1 : 1\,000\,000$ с пространственным разрешением 30 м за 1980–1986 гг. При составлении данной схемы дешифрирования использовались также текстовые источники и картографические материалы.

В целях исследования многолетней динамики эпизоотий в различных ландшафтах была проведена статистическая обработка массива данных, состоявшего из n рядов (по количеству исследуемых квадратов) альтернативных показателей: 1 — эпизоотии зарегистрированы, 0 — эпизоотии отсутствуют. Для измерения связи между такими рядами нами использовались коэффициенты контингенции, ассоциации Юла, Хеммингово расстояние и коэффициенты совпадений единичных значений.

Удовлетворительные результаты получены при использовании коэффициентов корреляции качественных показателей, выражаемых характеристиками 1 или 0, и вычисляемых по формуле

$$r = \frac{ad - bc}{\sqrt{(a + b)(b + d)(a + c)(c + d)}}, \quad (3.11)$$

где a — количество совпадений единиц в двух попарно сравниваемых рядах за весь анализируемый период лет; b — число сочетаний 1 и 0 в двух рядах; c — количество сочетаний 0 и 1 в рядах и, наконец, d — число совпадений нулевых значений. Этот коэффициент называют коэффициентом контингенции, или взаимной сопряженности показателей (Дружинин, 1971, с. 107–108).

Для этих же целей используется коэффициент ассоциации Юла

$$Q = \frac{ad - bc}{ad + bc}. \quad (3.12)$$

Как отмечается в упомянутой выше книге, величина этого показателя всегда меньше величины коэффициента ассоциации.

Кроме того, в качестве меры близости рядов друг к другу использовалось широко известное Хеммингово расстояние

$$d_{ij} = \sum_{k=1}^m |x_{ik} - x_{jk}|, \quad (3.13)$$

где x — значения 0 или 1 в сравниваемых рядах i и j , m — число лет в рядах.

Вычислялись нами и коэффициенты S_1 и S_2 , заимствованные из книги (Типология..., 1982, с. 210–212):

$$S_1 = \frac{a}{a + k(b + c)}, \quad (3.14)$$

$$S_2 = \frac{a + d}{a + d + k(b + c)}, \quad (3.15)$$

где $k = \{1/2, 1, 2\}$ — весовые значения. Первый коэффициент ориентирован на учет совпадений 1 и соотносится с числом несовпадений с различным весом, задаваемым величиной k . S_2 учитывает количество совпадений нулей и единиц. Поскольку в нашем случае количество единиц в рядах существенно меньше, чем нулей, то, как рекомендуется в книге (Типология..., 1982), k бралось равным 1/2.

Рассчитывая характеристики связи по формулам (3.11)–(3.14) между всеми n рядами, они приводят к получению матриц размерностью $n \times n$, которые поддаются картографированию. Для каждого варианта расчетов можно составить n карт по количеству рядов, характеризующих соответствующие n исходных квадратов на карте. Однако в практических целях целесообразно создавать меньшее количество карт, например, показывая сходство всех квадратов лишь с самыми интересными, эталонными квадратами. Для этой цели нами было выбрано 10 ключевых участков с различной ландшафтной структурой, включавших по 2–4 квадрата энзоотичной территории, для чего на первом этапе работы и создавались суммарные карты распределения чумы на фоне схемы дешифрирования современных ландшафтов пустыни Кызылкум.

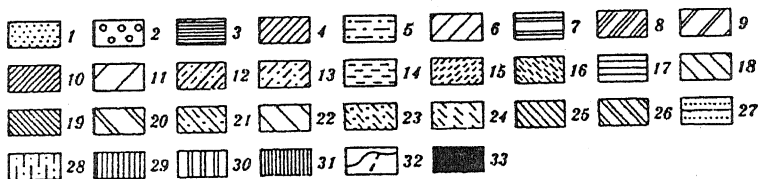
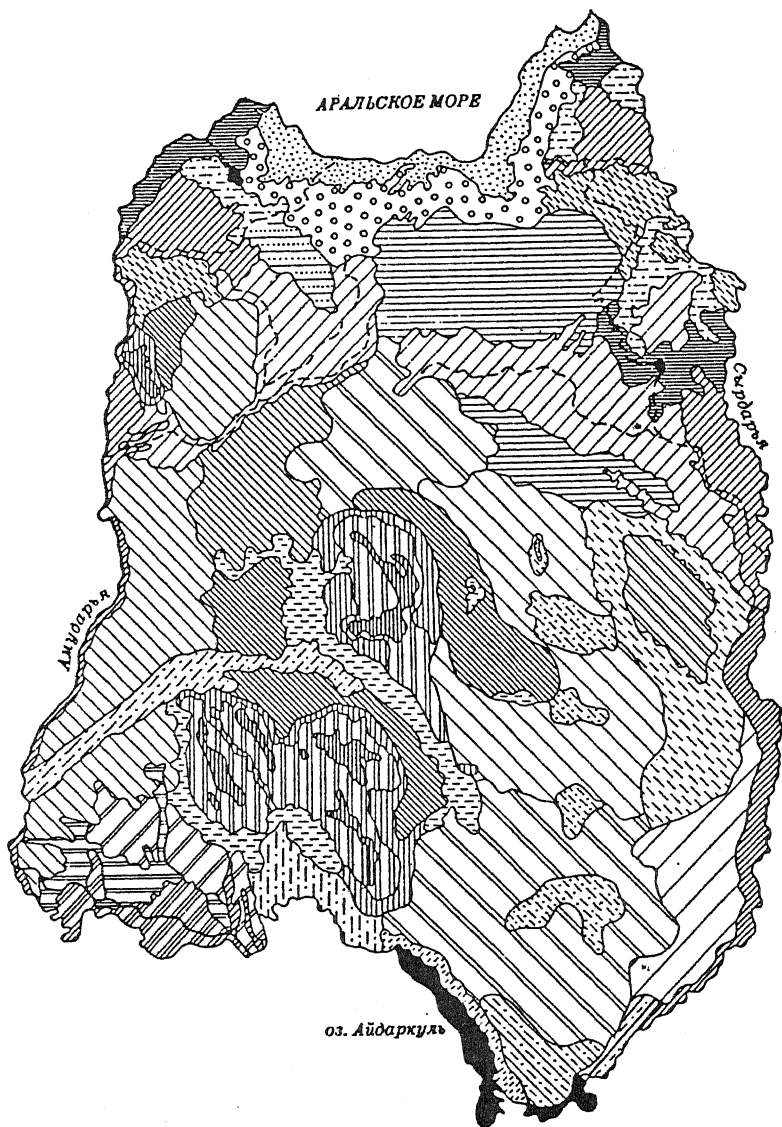


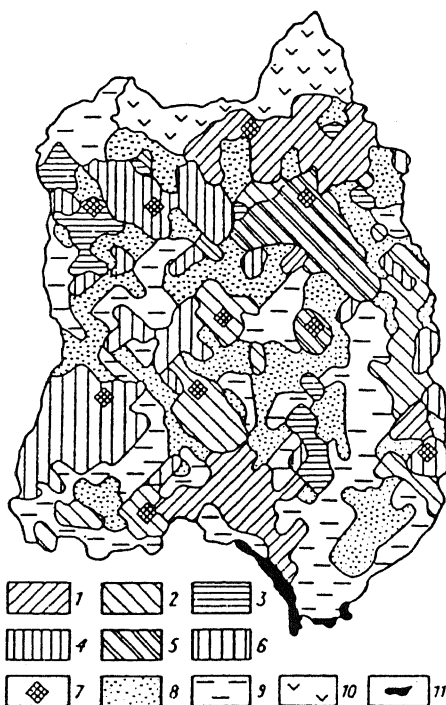
Рис. 41. Схема дешифрирования современных ландшафтов пустыни Кызылкум. Морские аккумулятивные равнины: 1 — песчаные пляжи, илистые участки осушки, солончаки, практически лишенные растительного покрова; 2 — первичные морские аккумулятивные равнины с разреженной псаммофитной растительностью на песках, с озерно-болотными комплексами, такырами и солончаками. Аллювиально-дельтовые

равнины: 3 — низменные аллювиально-дельтовые равнины с древесно-кустарниковыми и травянистыми тугаями и тростниковыми зарослями с примесью рогоза на лугово-болотных почвах в комплексе с песчаными массивами и солончаками; 4 — низменные аллювиально-дельтовые равнины с древесно-кустарниковыми и травянистыми тугаями на аллювиально-луговых почвах, с сельскохозяйственными культурами на тех же орошаемых почвах в комплексе с оазисными песками, такырами и солончаками; 5 — низменные аллювиально-дельтовые равнины с полынно-солянковой растительностью на такыровидных почвах, частично занятые орошаемыми сельскохозяйственными культурами, в комплексе с солончаками; 6 — низменные древние аллювиально-дельтовые равнины с полынно-биоргуновой растительностью на такырных солончаковых почвах, с тугайными лесами и черносаксаульниками на луговых солончаковых почвах и псаммофитно-кустарниковой растительностью на пустынных песчаных почвах в комплексе с солончаками и такырами; 7 — внутренние дельтово-аллювиальные равнины с тугайными лесами и болотной растительностью на лугово-такырных почвах в комплексе с солончаками; 8 — низкие внутренние дельтово-аллювиальные равнины с сельскохозяйственными культурами на староорошаемых сероземах и луговых почвах в сочетании с такырами и солончаками; 9 — низкие внутренние дельтово-аллювиальные равнины с псаммофитно-кустарниковой, полынной и эфимеровой растительностью на серо-бурых солончаковых почвах в комплексе с солончаками. Аллювиальные равнины: 10 — аллювиальные равнины с тугайными лесами на луговых почвах, частично занятые орошаемыми сельскохозяйственными культурами, в комплексе с солончаками; 11 — древнеаллювиальные равнины с полынной и копкеповой растительностью на серо-бурых солончаковых почвах в комплексе с незакрепленными песками и солончаками; 12 — древнеаллювиальные равнины с рисовыми плантациями на орошаемых серо-бурых почвах; 13 — древние ложбины стока с джугуновой растительностью на пустынных песчаных почвах. Древние озерные впадины: 14 — бессточные такырные и солончаковые впадины с полынно-солянковой растительностью на серо-бурых солончаковых почвах в комплексе с солончаками; 15 — бессточные заболоченные впадины с полынно-солянковой растительностью на такыровидных почвах в комплексе с солончаками. Золотые равнины: 16 — ячеистые золотые равнины с саксауловой и псаммофитно-кустарниковой растительностью на пустынных песчаных почвах в комплексе с солончаками; 17 — древние грядовые золотые равнины со смешанно-саксаульниками на пустынных песчаных почвах в комплексе с солончаками; 18 — ячеистые и грядово-ячеистые золотые равнины с илаково-саксауловой, псаммофитно-кустарниковой и эфимеровой растительностью на пустынных песчаных почвах; 19 — грядовые золотые равнины с белосаксауловой, псаммофитно-кустарниковой и эфимеровой растительностью на пустынных песчаных почвах; 20 — грядово-ячеистые золотые равнины со скоплениями барханных песков и белосаксауловой и эфимеровой растительностью на пустынных песчаных почвах; 21 — барханные золотые равнины с разреженной псаммофитной и эфимеровой растительностью на слабозакрепленных пустынных песчаных почвах; 22 — барханно-грядовые и грядовые золотые равнины с псаммофитно-кустарниковой и эфимеровой растительностью на пустынных песчаных почвах; 23 — ячеистые золотые равнины с разреженной псаммофитно-кустарниковой растительностью на пустынных песчаных почвах; 24 — ячеистые золотые равнины со скоплениями барханных и грядовых песков с псаммофитно-кустарниковой и эфимеровой растительностью на пустынных песчаных почвах; 25 — крупногрядовые, грядовые, барханно-грядовые и барханные золотые равнины с белосаксауловой, смешанно-саксауловой и эфимеровой растительностью на пустынных песчаных почвах; 26 — холмистые золотые равнины с псаммофитно-кустарниковой и эфимеровой растительностью на пустынных песчаных почвах. Пластовые равнины и останцовые возвышенности: 27 — пластовые равнины с полынно-биоргуновой растительностью на серо-бурых солончаковых почвах; 28 — пластовые равнины с полынной и эфимеровой растительностью на серо-бурых солончаковых почвах; 29 — пролонгиальные пологонаклонные равнины с полынно-солянковой и эфимеровой растительностью на серо-бурых щебнистых почвах в комплексе с солончаками; 30 — увалисто-холмистые возвышенности с полынно-псаммофитно-кустарниковой и эфимеровой растительностью на серо-бурых частично солончаковых почвах; 31 — останцовые возвышенности, сложенные преимущественно известняками, песчаниками, гранитами с полынно-солянковой и эфимеровой растительностью на хрящеватых серо-бурых почвах; 32 — русла постоянных и временных водотоков; 33 — водохранилища и искусственные водоемы

Построив соответствующие карты относительно всех выбранных ключевых участков и сравнив их между собой при использовании перечисленных характеристик связи, был сделан вывод о том, что коэффициенты совпадений S_1 и S_2 дают наиболее достоверно интерпретируемые результаты. Поэтому в дальнейшем анализе нами рассматривались карты, построенные на их основе. Поскольку расчеты проводились отдельно для весны и осени, то и анализировались соответствующие наборы карт порознь.

В результате обобщения данных, приведенных на этих картах, была составлена суммарная карта ареалов положительных связей, которая отражает многолетнюю динамику эпизоотий чумы среди грызунов в современных ландшафтах пустыни Кызылкум. По ней удалось выяснить принципиальные различия в ходе многолетней динамики эпизоотий чумы в различных ландшафтах и объединить территории со сходным типом временной активности очагов. Для примера представлена карта, составленная по данным весенних наблюдений (рис. 42). На ней штриховками показаны территории с разным ходом динамики эпизоотий. В их центре

Рис. 42. Размещение территорий с разным ходом многолетней динамики эпизоотий чумы. 1–6 — типы очаговой территории с разным ходом многолетней динамики эпизоотий; 7 — ключевые участки; 8 — территории без выраженного хода многолетней динамики эпизоотий; 9 — территории, свободные от эпизоотий чумы; 10 — территории, для которых данные об эпизоотиях чумы не приведены; 11 — водные поверхности



квадратами обозначены ключевые участки, характеризующие типичные очаги заболеваний в различных природных условиях. Ключевые участки выделены в ландшафтах № 2, 6, 9, 11, 13, 18, а также на стыке ландшафтов 6 и 17, 13 и 14, 22 и 23, 29 и 30, показанных на рис. 41. Эти участки характеризуют все многообразие природ-

ных условий, благоприятных для жизнеобитания грызунов на типичных песчаных, глинистых, солончаковых, щебнистых равнинах и в их маргинальных областях.

Одинаковые динамические ряды имеют, в частности, области современных, а также древних аллювиальных и дельтовых равнин вместе с прилежащими к ним участками песчаных пустынь; внутренние солончаковые депрессии вместе с соседствующими с ними подгорными наклонными равнинами, возвышенностями и низкогорьями. В то же время во многих песчаных пустынях, а также на отдельных участках современных речных долин и дельт характерный многолетний ход вспышек чумы выделить не удалось. Очевидно, это связано с малым количеством зарегистрированных эпизоотий (1-2) за 35 лет. Среди песчаных пустынь выделяются мелкие участки очаговой территории с различными динамическими рядами эпизоотий чумы. Контуры с низкой частотой проявления эпизоотий чередуются с участками, на которых заболевания грызунов не зафиксированы.

Динамические ряды, вычисленные по результатам обработки данных на ЭВМ о весенних эпизоотиях за 35 лет, содержат от 2 до 6 лет с эпизоотиями в разные годы, различно расположенных на "оси времени". На обширных пространствах Нукуских и Восточно-Кызылкумских песков, а также в предгорьях Султануиздага эпизоотии зафиксированы в первой половине 50-х и во второй половине 60-х гг. (контур 1). Дальнейшее прекращение заболеваний может быть связано с усилением здесь пастбищной дигрессии, отчетливо прослеживающейся на космических снимках, что привело к ухудшению кормовой базы грызунов.

В Кызлабатском песчаном массиве, расположенном к западу от долины Амударьи в древней ложбине стока и ее окрестностях, а также в центре Кызылкумов, в песках Жаманкум, соседствующих с ними бессточных солончаковых депрессиях и на прилежащих склонах Северного и Южного плато зарегистрированы отдельные эпизоотии в середине 50-х и начале 80-х гг. (контур 2).

В древней дельте Ачкадарьи и прилежащих участках песчаных пустынь эпизоотии чумы были зафиксированы двумя длительными вспышками в середине 50-х и второй половине 60-х гг. Позже заболевания грызунов там не обнаружены (контур 3). На древней аллювиально-дельтовой равнине Жанадарьи и прилежащих участках песчаных пустынь эпизоотии развивались двумя вспышками: в начале 60-х и в начале 70-х гг. Близкий динамический ряд, в котором добавляются редкие вспышки чумы в начале 80-х гг., выделен

в бессточных солончаковых понижениях Акбайтальского песчаного массива (контур 4).

В Приаральских песках вспышки чумы зарегистрированы в 1965 и с 1975 по 1980 г., а на морском побережье — только во второй половине 70-х гг. (контур 5). Резкая активизация заболевания, очевидно, связана с катастрофическим отступлением моря, формированием на обсыхающем побережье песчаных, солончаковых и такырных пустынь, понижением уровня грунтовых вод вдоль всего побережья (Боровский, Корниенко, 1979), что со временем создало благоприятные условия для поселения грызунов.

На обширной территории к северо-западу от оз. Айдаркуль в прилежащих песчаных пустынях и Каракатинской впадине наблюдалась вспышка чумы в начале 70-х гг., последовавшая с небольшим временным интервалом после образования в 1969 г. оз. Айдаркуль (Григорьев, 1985) и приуроченная к области активизировавшегося стока грунтовых вод.

К югу от горного хребта Кульджуктау вплоть до дельты Зеравшана располагается крупный эпизоотический участок с двумя продолжительными эпизоотиями в начале 70-х и 80-е годы (контур 6). Аналогичная динамическая ситуация установлена в Минбулакской впадине, прилежащих к ней с востока подгорных наклонных равнинах и окаймляющих с запада эоловых равнинах. Причиной ее возникновения могут служить усыхание родниковых болот и формирование солончаков. Такая же динамическая ситуация характерна для отдельных участков аллювиальной равнины Сырдарьи. По времени ее образование коррелирует с прекращением разливов реки, пересыханием существовавших там ранее болот и озер и формированием солончаков (Куручкина, Иманкулов, Корниенко, 1979), точно дешифрируемых на космических снимках.

Глава IV

КОНСТРУИРОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ ДИНАМИКИ ЯВЛЕНИЙ

IV.1. МОДЕЛИ ДИНАМИКИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЯВЛЕНИЙ

Исследование распространения явлений по территории, как правило, многоаспектно и сложно формализуемо, что связано с большим рядом причин, влияющих на направления и скорости перемещения. Но учет большого количества факторов значительно осложняет имитацию процессов, а иногда второстепенные, соподчиненные причины даже затушевывают основную картину распространения явлений. В связи с этим многопараметрический процесс имитации пространственного распространения явлений весьма заманчиво смоделировать, основываясь на минимальном числе наиболее доступных показателей.

Для этого можно использовать ряд моделей как детерминистских, так и стохастических. Среди стохастических моделей пространственного развития явлений важное место занимает метод Монте-Карло, который имеет хорошо разработанную структуру вычислительного алгоритма (Бусленко, Шрейдер, 1961; Соболев, 1968; и др.) и позволяет получать объективные результаты. По-видимому, все это и привело к широкому использованию данного метода для решения различных задач пространственного развития явлений (Матлин, 1971; Петров, Тикунов, 1983; Тикунов, 1985; Bailey, 1957; Bartlett, 1957; Hägerstrand, 1957; Garrison, 1962; Morrill, 1962, 1963; Forster, 1973; и др.).

В географических исследованиях не менее широко используются модели, основанные на цепях Маркова (Харвей, 1971; Комедчиков, Светлосанов, Тикунов, 1992; Maccheroni, 1971; Varraso, 1981). Интересен опыт приложения теории игр для решения проблем прогнозирования пространственного размещения явлений (Stevens, 1961; Gould, 1963). Достаточно полные обзоры по данным вопросам можно найти в работах (Хаггет, 1968; Харвей, 1971; Дра-

мович, 1979; Przestrzenna..., 1975; Dramowicz, 1976). Также можно указать на эксперименты по моделированию “волн” заселения (Bylund, 1960), развития эпидемий (Rushton, Mautner, 1955) и др. Однако среди класса детерминистских моделей основная масса работ посвящена тем или иным аспектам применения так называемых “гравитационных” моделей или их модификаций (см., например, обзор в книге П. Хаггета, 1968, с. 50–57).

IV.1.1. “Гравитационные” модели динамики пространственного распространения явлений

Судя по анализу опубликованной литературы, среди данного класса моделей наиболее часто имитируются потоки населения или отдельных его категорий, грузопотоки, объемы телефонных переговоров между пунктами и т.д. Иными словами, моделируются сложные многопричинные явления, которые вряд ли могут быть полностью формализованы и описаны математическими уравнениями. Однако целый класс процессов распространения явлений по территории имеет сходные стороны. Например, логично предположить, что поток отдыхающих, устремляющихся к Черноморскому побережью, или покупателей к торговым точкам, так же как и поток иногородних абитуриентов в вузы, будет связан с плотностью населенных пунктов, из которых происходит миграция, и их пространственной удаленностью от центров притяжения мигрантов.

Для большинства разновидностей миграций это два самых общих фактора, влияющих на объем миграционных потоков. Но можно назвать и еще целый ряд специфических факторов, например для последнего случая это будет связь профиля вуза с преимущественным видом занятия населения, популярностью данного профиля вуза, характером информации о нем, количеством мест в вузе и т.д. Однако это сложнодоступные и менее значимые факторы. Поэтому в качестве конкретного примера была выбрана задача имитации некоторой “абстрактной” эпидемии по территории (Тикунов, 1981а). В данном случае модель основывалась на формуле взаимодействия населенных пунктов Стюарта (см. формулу (2.2)), созданную по аналогии с моделью тяготения Ньютона. Поэтому получаемые результаты рассматривались нами как ориентировочные, а сама модель — как первое приближение к математическому описанию процесса. В качестве примера моделировалось развитие эпи-

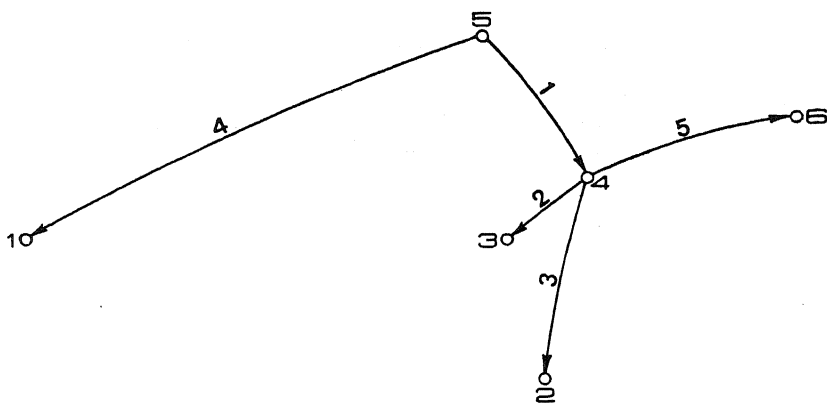


Рис. 43. Условный пример этапности распространения эпидемии

демии между городами Великобритании с числом жителей более 100 тыс.

В рассматриваемом примере отсутствовали типичные источники помех, вызывающие, по мнению некоторых ученых, расхождения фактов с формулой (2.2). Это отсутствие сильных потоков не местного характера и не использование для расчетов малолюдных поселений. Статистический материал был взят из официальных материалов переписи населения в 1971 г. (Census. England and Wales..., 1971; Census. Scotland..., 1971).

При обосновании возможностей использования модели было сделано следующее допущение. Полагалось, что развитие эпидемии прямо пропорционально числу контактов между людьми, а следовательно, определяется объемом миграций между пунктами. Как уже отмечалось для большинства разновидностей миграций, людность пунктов и их пространственная удаленность являются самыми общими факторами миграции. Но можно указать и еще ряд специфических факторов, например искажения в характере распространения эпидемий, вызываемые превентивными прививками, карантинными мероприятиями и т.д.

Методику расчета этапности распространения эпидемий, разработанную автором с учетом возможности их картографирования, удобно проиллюстрировать на условном примере. Допустим, что имеется шесть населенных пунктов, все необходимые данные о которых сведены в табл. 1. Графическое изображение размещения пунктов показано на рис. 43.

Прежде всего, используя формулу (2.2), следует рассчитать матрицу, характеризующую объемы миграций между пунктами (табл. 2).

Таблица 1
Условные данные для моделирования распространения эпидемии

№	Людность пунктов (тыс. чел.)	Координаты (км)	
		X	Y
1	56,300	5,0	2,0
2	20,700	9,0	1,0
3	21,600	8,7	2,1
4	80,400	9,3	2,6
5	120,010	8,5	3,7
6	12,200	10,9	3,1

Таблица 2
Матрица объемов миграций между населенными пунктами

		П у н к т ы					
		1	2	3	4	5	6
П у н к т ы	1		68,55	88,76	240,13	446,27	19,07
	2	68,55		343,94	628,03	329,47	31,49
	3	88,76	343,94		2846,95	997,01	45,12
	4	240,13	628,03	2846,95		5215,57	349,07
	5	446,27	329,47	997,01	5215,57		239,24
	6	19,07	31,49	45,12	349,07	239,24	

После этого задается номер пункта, из которого начинает распространяться эпидемия например, 5. Далее из пятого столбца матрицы выбирается максимальное число (5215,57), свидетельствующее о наибольшем объеме миграций между соответствующими пунктами, а следовательно, и о максимальной вероятности перенесения эпидемии из пункта 5 в пункт 4. Теперь уже пункты 5 и 4 могут служить очагами распространения эпидемии. Поэтому максимальное число выбирается из двух столбцов — четвертого и пятого, естественно, не принимая во внимание уже реализованное число 5215,57. В этом случае максимальное число (2846,95) показывает, что эпидемия распространится из четвертого пункта в третий. Рассматривая третий, четвертый и пятый столбцы, находим следующее максимальное число — 997,01 (3–5). Но в этом случае распространение не происходит, так как эпидемией уже охвачены оба этих пункта. Поэтому данное число из анализа исключается и отыскивается в этих же трех столбцах следующее максимальное число — 628,03. Следовательно, на третьем этапе эпидемия распространится из пункта 4 в пункт 2. Далее наиболее вероятно поражение пункта 1 из пункта 5 (446,27). Наконец, когда лишь до шестого пункта еще не

распространилась эпидемия, анализ пяти первых столбцов показывает, что она придет сюда из пункта 4 (349,07). Этапность пространственного развития эпидемии может быть показана графически, как это сделано на рис. 43. Цифры над стрелками обозначают номера этапов распространения эпидемии.

Аналогичным образом смоделировано распространение эпидемии из Лондона до всех остальных 57 городов Великобритании с числом жителей более 100 тыс. Результирующая карта представлена на рис. 44. Этапность распространения эпидемии показана толщиной стрелок, что позволяет воссоздать картину постепенного развития эпидемии по территории. Анализ полученной карты свидетельствует о доминирующем влиянии Лондона не только на близлежащие города, но прежде всего на достаточно удаленные крупные города страны (Бирмингем, Бристоль, Манчестер, Шеффилд и др.). То есть прежде всего эпидемия будет распространяться между крупнейшими городами и лишь затем как бы веерообразно от крупных городов к более мелким. Поэтому противоэпидемические преграды следует устанавливать в первую очередь между крупнейшими (а не ближайшими) пунктами, так как в противном случае общее число жителей, попавших в волну эпидемии за одни и те же отрезки времени, окажется большим.

Основные оси распространения эпидемии совпадают с главнейшими путями сообщения Британии — основными автотрассами (мотоewayми) и железнодорожными магистралями. Более того, можно заметить определенное совпадение картины распространения эпидемии с транспортной доступностью между городами. Например, чтобы добраться из городов Южного Уэльса в Ливерпуль или Манчестер, по времени часто выгоден не кратчайший путь через центральный Уэльс, а путь через Лондон, который большинство жителей выбирает для аналогичных поездок при использовании общественного транспорта. Таким же образом распространение эпидемии из городов южного Уэльса в районы Ланкашира и Уэст-Райдинга произошло бы через Лондон, что отчасти подтверждается рис. 44.

Как же ведет себя модель, если менять некоторые ее параметры? Так, если показатель степени u величины D в формуле (2.2) взять равным 1, то доминирующее влияние Лондона оказывается еще более контрастно выраженным. В этом случае, если показатель степени будет равен 3, т.е. фактор расстояния будет влиять на результирующую величину достаточно сильно, лучше проявляются особенности регионального характера. Для данного варианта четко выражена тенденция последовательного развития эпидемии между круп-

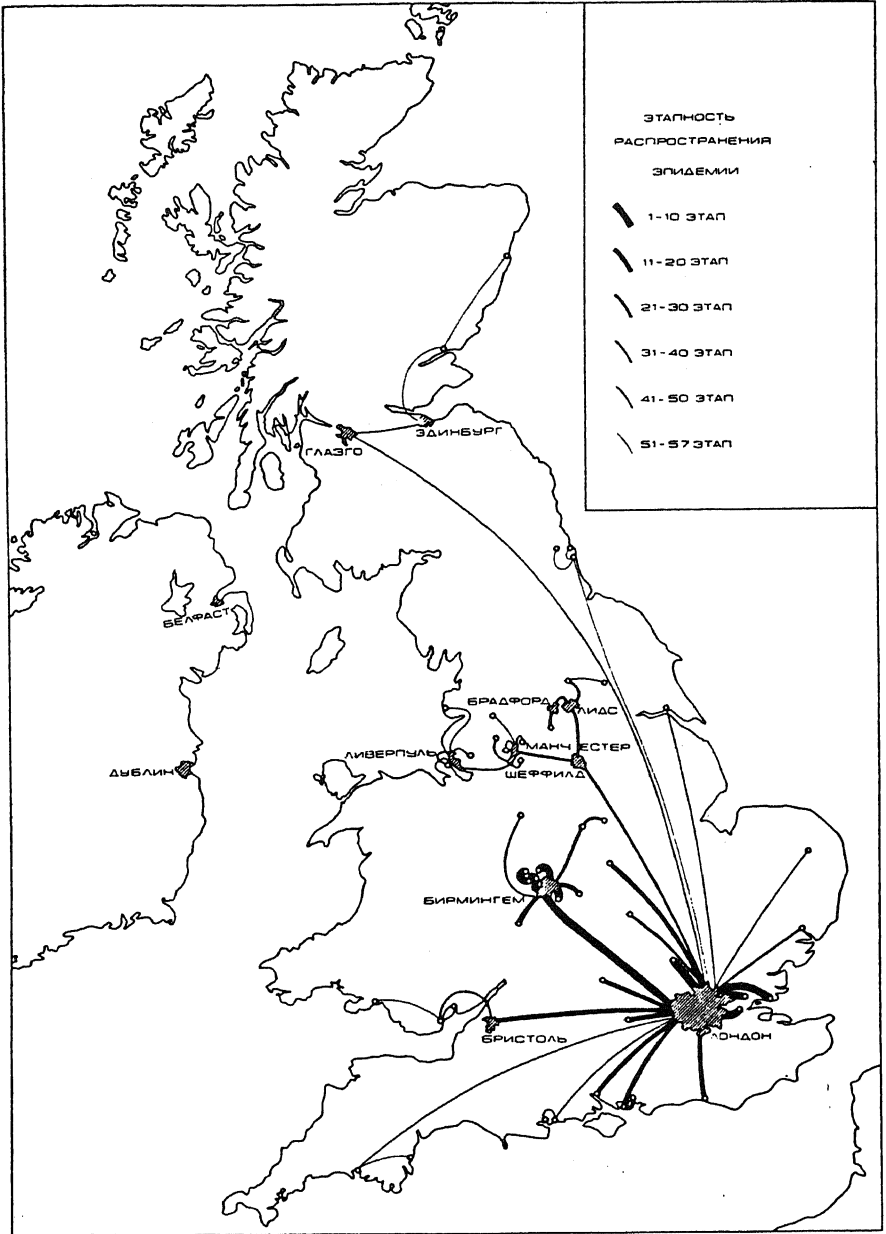


Рис. 44. Распространение эпидемии из Лондона между городами Великобритании. Толщина линий в ступенчатой шкале передает этапность распространения эпидемии

ными городами: Лондон — Бирмингем — Манчестер — Шеффилд — Лидс — Бадфорд, с последующим распространением эпидемии от них к более мелким.

В некоторых случаях для моделирования пространственного распространения явлений вместо обобщенной модели (формула (2.2)) можно использовать эмпирические формулы миграций, что, например, показано при моделировании притока абитуриентов в вузы (Свентэк, 1971; Тикунов, 1983а, 1985б; McConnell, 1965). Собрав определенный фактический материал для того или иного вида миграции и убедившись, что эмпирические формулы, их описывающие, достоверны, в последующем открывается возможность использовать их как стандартные формулы для тех или иных территорий с целью прогнозирования объемов миграций на основе достаточно общих и легкодоступных сведений. Отчасти поэтому же к вышеописанному эксперименту по моделированию этапности распространения эпидемии следует относиться как к методическому примеру. Если вместо уравнения (2.2) использовать эмпирические зависимости, то это, несомненно, повысит достоверность моделирования.

Проведенный эксперимент по имитации распространения эпидемии между городами правильно передает скачкообразность характера их распространения из очага. В этом случае возможно распространение эпидемии в более удаленный от источника пункт с последующим ее появлением в близлежащих пунктах и т.д. Однако разработанная модель в явном виде не имитирует вероятностный характер распространения эпидемий, поэтому в продолжение данного эксперимента нами осуществлена работа по их моделированию с использованием метода Монте-Карло.

IV.1.2. Стохастическое моделирование пространственного распространения явлений

В качестве конкретного примера, иллюстрирующего методiku моделирования пространственно-временного развития явлений, выбрана имитация развития эпидемий с использованием метода Монте-Карло (Петров, Тикунов, 1986).

Вкратце метод Монте-Карло заключается в следующем. Исследуемое явление представляется как некая абстрактная система, которая может находиться в нескольких различных состояниях. При этом считается, что нахождение системы в каком-либо из состояний слу-

чайно и вероятность этого факта подчиняется определенному закону распределения, который характеризует как саму систему, так и связи между различными ее состояниями. С помощью таблиц случайных чисел или датчиков псевдослучайных величин моделируются конкретные реализации состояний для исследуемой системы. Обработанная полученная таким образом информация о системе методами математической статистики, получают требуемые численные результаты. Элементарное изложение данного метода дано в работе (Нивергельт, Фаррар, Рейнголд, 1977).

В нашем эксперименте применялась стохастическая пространственно-временная модель распространения явлений эпидемического типа, т.е. без учета конкретного вида эпидемий, имеющих свои особенности течения эпидемического процесса. Таким образом, целью исследования было моделирование развития эпидемии на конкретной территории, но при ряде условных допущений, без учета того, что каждая эпидемическая форма болезни характеризуется своими, только присущими ей закономерностями течения эпидемического процесса, своими особенностями распространения среди различных возрастных и профессиональных групп населения и др. Иными словами, моделируется некоторая абстрактная форма эпидемии. Методическим основанием работы послужили уже проведенные исследования, подробно рассмотренные в работах (Бейли, 1970; Драмович, 1979). В кратком изложении их результаты сводятся к следующему.

Территория, изображенная на карте, для которой моделируется пространственное распространение эпидемии, разбивается на ряд территориальных единиц, размеры которых существенно меньше размеров исходной территории. Население каждой территориальной единицы делится на три группы: *A* — восприимчивые к инфекции, *B* — носители инфекции, *C* — выбывшие, т.е. переболевшие, умершие и т.д., а также иные лица, удаленные из процесса.

В классической модели эпидемии Кендалла (Бейли, 1970; Драмович, 1979) взаимодействие между вышеперечисленными группами населения в конкретной территориальной единице и между населением прочих единиц описывается системой из трех обыкновенных дифференциальных уравнений следующего вида:

$$\frac{dx_i(t)}{dt} = -\beta\sigma x_i(t) \bar{y}_i(t), \quad (4.1)$$

$$\frac{dy_i(t)}{dt} = \beta\sigma x_i(t) \bar{y}_i(t) - \gamma y_i(t), \quad (4.2)$$

$$\frac{dz_i(t)}{dt} = \gamma y_i(t), \quad (4.3)$$

где $x_i(t)$, $y_i(t)$, $z_i(t)$ — относительные частоты групп населения A , B , C , соответственно находящихся в i -й территориальной единице в момент времени t , причем $x_i(t) + y_i(t) + z_i(t) = 1$ для любой i -й единицы и любого t ; β — частота случаев заражения; γ — частота случаев удаления; σ — плотность населения; $\bar{y}_i(t)$ — среднее значение $y_i(t)$, взвешенное по территории. Среднюю взвешенную вычисляют по формуле

$$\bar{y}_i(t) = \iint \lambda_{ij} y_j(t) dS, \quad (4.4)$$

где $y_j(t)$ — доля носителей среди жителей j -й территориальной единицы в момент времени t ; λ_{ij} — неотрицательный весовой коэффициент, показывающий влияние носителей инфекции из j -й единицы на восприимчивых лиц, находящихся в i -й территориальной

единице. Величина λ_{ij} подчиняется условию $\iint \lambda_{ij} dS = 1$. Двойной интеграл обозначает суммирование для всех элементов территории в пределах i -й и j -й территориальных единиц.

Уравнение (4.1) описывает процесс перехода из состояния A в состояние B , уравнение (4.2) — из состояния B в состояние C , уравнение (4.3) отображает процесс удаления. Аналогичные построения, как правило, лежат и в основе других моделей развития эпидемий или других подобных им явлений. У Н. Бейли (1970) приведена модель пространственного распространения эпидемий в предположении, что территория является однородной и изотропной в смысле влияния на величину скорости и направления распространения фронта эпидемии. Для этой модели найдено аналитическое решение. Р. Камерон (Cameron, 1975) и ряд других авторов изучали распространение научных и социальных идей и представлений, также опираясь на системы обыкновенных дифференциальных уравнений, с целью формализовать процессы переходов населения из одной группы в другую, аналогично группам A , B и C .

Одной из трудностей, возникающих при использовании перечисленных моделей, является получение численных результатов. Аналитическое решение удастся получить только для очень простых моделей и при разбиении рассматриваемых территорий на малое число территориальных единиц. С ростом сложности моделей

и количества территориальных единиц получение достоверных численных решений становится практически малореальным. Математический аппарат, используемый при построении моделей, в целом позволяет получать неплохие результаты. Однако этот аппарат не представляет возможности в полной мере учитывать территориальные аспекты задачи.

В то же время в работах Т. Хегерстранда (Hägerstrand, 1965; и др.) для получения близких по смыслу моделей распространения нововведений используется несколько иной математический аппарат. А именно стохастическое моделирование, основанное на методе Монте-Карло. Н. Бейли, рассматривая перспективы моделирования эпидемий, также предлагает применять метод Монте-Карло, но со следующей оговоркой — “анализ их (стохастических моделей) сопряжен с огромными трудностями, во всяком случае если его проводить чисто математическим путем” (Бейли, 1970, с. 230).

Учитывая состояние проблемы и используя некоторые идеи Т. Хегерстранда, мы сосредоточили свое внимание на пространственном аспекте распространения явлений и анализе получаемых результатов с географических позиций. Моделирование процесса переходов населения в территориальных единицах из одной группы населения в другую (имеются в виду группы A , B и C), учитывая положительные результаты, полученные рядом авторов, работавшим в этом направлении, нами не рассматривалось, и процесс трактовался в упрощенном виде. Система условий, используемая при построении данной модели, имеет следующий вид.

1. Территория, для которой производится моделирование, разбивается на n равных территориальных единиц. Каждой j -й территориальной единице соответствует пара чисел x_j, y_j , которые являются координатами ее центра в некоторой прямоугольной системе координат.

2. Для каждой j -й территориальной единицы задается численность населения в ней — d_j .

3. Каждая территориальная единица может находиться в одном из трех состояний: I. Данная единица охвачена эпидемией (т.е. все ее население относится к группе B); II. Эпидемия в территориальной единице закончилась (ее население выбыло из процесса распространения инфекции и целиком относится к группе C); III. Эпидемия в данной единице еще не началась (т.е. ее население целиком относится к группе A). В начальный момент моделирования по крайней мере одна территориальная единица должна быть в состоянии I.

4. Состояния всех территориальных единиц могут меняться только через дискретные промежутки времени. Причем разность между двумя любыми последовательными моментами времени t_i и t_{i+1} постоянна.

5. Если в некоторый момент времени t_i в j -й территориальной единице начинается эпидемия, то считается, что все ее население заболевает, т.е. переходит в группу B , а сама единица соответственно переходит из состояния III в состояние I. Естественно ожидать, что через некоторое время Δt_j территориальная единица перейдет из состояния I в состояние II, и тогда ее население не будет оказывать влияния на последующее распространение эпидемии, т.е. целиком перейдет в группу C . Промежуток времени Δt_j для данной j -й территориальной единицы в первом приближении будем считать пропорциональным численности жителей в ней, т.е.

$$\Delta t_j = K \cdot d_j, \quad (4.5)$$

где K — некоторая постоянная величина для всего региона. Если положить, что \bar{d} — средняя численность населения всех территориальных единиц, а Δt — время продолжительности эпидемии в территориальной единице, которая имела бы численность населения \bar{d} , то тогда

$$K = \frac{\Delta t}{\bar{d}}. \quad (4.6)$$

6. Вероятность возникновения эпидемии в момент времени t_i в j -й территориальной единице считается большей нуля только в случае, если в момент времени t_{i-1} она находилась в состоянии III согласно п. 3; в противном случае вероятность считается равной нулю. Искомая вероятность p_j пропорциональна сумме вида

$$p_j \approx \tilde{p}_j = \sum_{k=1}^m \frac{d_j \cdot d_{l_k}}{R_{jl_k}^2}, \quad (4.7)$$

где d_j — численность населения в j -й территориальной единице; d_{l_k} — численность населения в l_k -й единице, которая в момент времени t_{i-1} находилась в состоянии I, причем таких единиц m , а их номера есть $l_1, l_2, l_3, \dots, l_m$; $R_{jl_k}^2 = (x_j - x_{l_k})^2 + (y_j - y_{l_k})^2$, т.е. квад-

рат расстояния между j -й и l_k -й единицами. Для каждой j -й территориальной единицы, которая в момент времени t_{i-1} находилась в состоянии III, определяем величину \tilde{p}_j . Для всех прочих территориальных единиц полагаем эту величину равной нулю. Находим сумму

$$\Omega = \sum_{j=1}^n \tilde{p}_j. \quad (4.8)$$

Затем определяем p_j для любой j -й территориальной единицы по следующей формуле:

$$p_j = \frac{\tilde{p}_j}{\Omega}, \quad (4.9)$$

очевидно, что: а) $\sum_{j=1}^n p_j = 1$; б) все территориальные единицы, которые находились в момент времени t_{i-1} в состоянии I или II, будут иметь вероятность возникновения в них эпидемии в момент времени t_i , равной нулю.

7. На каждом шаге по времени согласно набору вероятностей $p_1, p_2, p_3, \dots, p_n$ из всех n территориальных единиц выбираем j -ю, в которой на данном шаге возникает эпидемия. После этого выбора перебираем все территориальные единицы, которые находятся в состоянии I, и те из них, для которых окончилось время Δt_j , переводим в состояние II. Выбор искомой j -й единицы осуществляется посредством следующей процедуры. Пусть имеется число ξ , принадлежащее некоторой выборке случайных чисел, равномерно распределенных на отрезке $[0, 1]$. Найдем суммы

$$B_0 = 0, \quad B_j = \sum_{k=1}^j p_k, \quad j = 1, 2, 3, \dots, n, \quad (4.10)$$

и будем считать, что выбирается j -я единица, если выполняется условие

$$B_{j-1} < \xi \leq B_j. \quad (4.11)$$

Момент времени, когда произошел выбор j -й единицы, фиксируется и обозначается \tilde{t}_j . В течение промежутка времени Δt_j j -я территориальная единица находится в состоянии I, а как только $\Delta t_j + \tilde{t}_j \geq t_i$,

где t_i — текущий момент времени, эта единица переходит в состояние II.

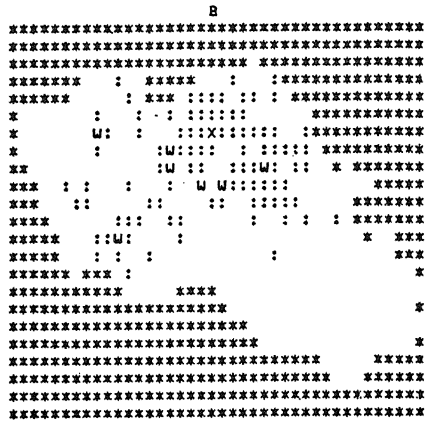
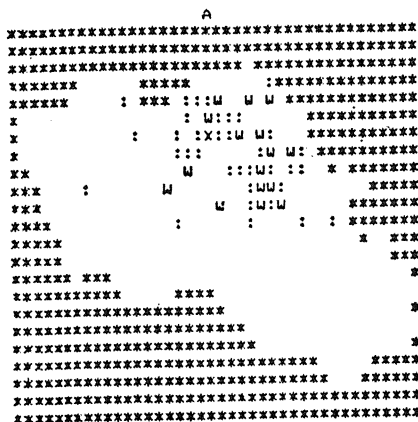
8. Процесс моделирования можно прекратить в любой момент времени t_i , где $i = 1, 2, 3, \dots, \infty$. Но понятно, что наступит такой момент времени, когда не останется ни одной территориальной единицы в состоянии III. Очевидно, что тогда будет известно для каждой территориальной единицы время начала (\tilde{t}_i) в ней эпидемии.

Реализуя процесс моделирования с одними и теми же исходными данными m раз, в итоге для i -й территориальной единицы будем иметь выборку $\tilde{t}_i^1, \tilde{t}_i^2, \tilde{t}_i^3, \dots, \tilde{t}_i^m$. Очевидно, что, используя эту выборку, можно дать ряд статистических оценок случайной величины, представляющей собой время начала эпидемии в данной территориальной единице. Таким образом, можно дать любой территориальной единице статистические оценки величины времени начала эпидемии и тем самым получить пространственно-временные характеристики процесса распространения эпидемии по исследуемой территории. Кроме этого в любой момент времени t_k можно подсчитать численности населения всей территории, относящиеся к группам A, B и C . Обозначим эти величины A_k^j, B_k^j, C_k^j . Очевидно, $A_k^j + B_k^j + C_k^j = P$, где P — общая численность населения.

Используя m -наборов $\{A_k^j, B_k^j, C_k^j\}$, можно, как было описано выше, оценить функции групп населения $P_A(t), P_B(t)$ и $P_C(t)$, находящиеся в соответствующие моменты времени в группах A, B и C . Для исследования процесса развития эпидемии имеет смысл также анализировать величину Ω (см. формулу (4.8)), так как чем больше Ω , тем интенсивнее происходит процесс распространения эпидемии. Анализ выборки $\{\Omega_k^j\}$ дает возможность сделать соответствующие выводы о поведении этой величины во времени. Таким же образом можно подвергнуть анализу аналогичные набо-

$$\text{ры } \left\{ \frac{\Omega_k^j}{A_k^j} \right\}, \left\{ \frac{\Omega_k^j}{B_k^j} \right\} \text{ и } \left\{ \frac{\Omega_k^j}{C_k^j} \right\}.$$

На основе поставленных условий и допущений была составлена программа на языке Фортран, в которой для получения случайной величины ξ , равномерно распределенной на отрезке $[0, 1]$, был использован стандартный датчик псевдослучайных величин. При помощи этой программы было проведено моделирование процесса разви-

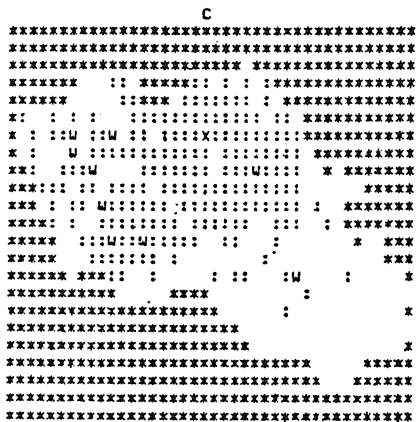


УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ:

- X — место начала эпидемии,
- W — клетки, в которые попала эпидемия (больных — 33.0% населения),
- : — клетки, через которые уже прошла эпидемия (переболевших 13.6%),
- * — клетки вне Алтайского края

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ:

- X — место начала эпидемии,
- W — клетки, в которые попала эпидемия (больных — 31.5% населения),
- : — клетки, через которые уже прошла эпидемия (переболевших 33.5%),
- * — клетки вне Алтайского края



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ:

- X — место начала эпидемии,
- W — клетки, в которые попала эпидемия (больных — 26.7% населения),
- : — клетки, через которые уже прошла эпидемия (переболевших 59.0%),
- * — клетки вне Алтайского края

Рис. 45. Распространение эпидемии по территории Алтайского края из г. Барнаула, смоделированное методом Монте-Карло

тия эпидемии по территории Алтайского края на основе следующих исходных данных.

Величины численности населения по населенным пунктам Алтайского края суммировались по ячейкам прямоугольной сетки со сторонами 20 × 31 км на местности. Каждый полученный прямоугольник символизировал собой территориальную единицу. В качестве их координат брались точки пересечения диагоналей прямо-

же величины долей всего населения, находящегося в данный момент времени соответственно в группах *A*, *B* и *C*. Для каждого варианта моделирования, т.е. как с очагом в г. Барнауле, так и г. Рубцовске, было проделано по 20 реализаций процесса распространения эпидемии. По каждой территориальной единице вычислялись оценки математического ожидания и среднеквадратического отклонения величины времени начала эпидемии. Соответствующие данные по территориальным единицам также могут печататься в виде карт на АЦПУ ЭВМ. Так, карты оценок математического ожидания времени начала эпидемии представлены на рис. 46.

Анализируя рис. 45 и 46, нетрудно заметить, что полученные результаты моделирования в общем согласуются с пространственным варьированием плотности населения. Так, прежде всего волна эпидемии от Барнаула как бы распространяется вдоль железных дорог на Бийск, Рубцовск, в сторону Новосибирска, к наиболее густо заселенным территориям края и прежде всего в районы предгорий Алтая и по долине р. Оби. Лишь затем происходит “заполнение” пустот между этими направлениями развития эпидемии и появление ее в Кулундинской степи. Вероятность же появления эпидемии в районах Горного Алтая мала, что и проявляется в полном отсутствии здесь ее очагов. Можно заметить также появление эпидемии прежде всего в крупных, хотя и достаточно удаленных от очага эпидемии, городах с последующим ее “расползанием” на окружающие территории.

Коэффициент корреляции между плотностью населения и оценками математического ожидания величины времени начала эпидемии в каждой территориальной единице равен $-0,39$. Аналогичный коэффициент для оценки среднеквадратического отклонения равен $-0,49$ в случае начала эпидемии из г. Барнаула. Коэффициенты корреляции аналогичных оценок с величинами потенциала поля расселения гораздо выше $-0,83$ и $-0,71$, что свидетельствует о лучшем соответствии интегральных характеристик населенности территории с характером распространения эпидемии. Это же в какой-то степени подтверждает правомочность использования гравитационных моделей для имитации процессов распространения эпидемии. Для случая распространения эпидемии из г. Рубцовска данные коэффициенты соответственно равны $-0,31$; $-0,41$; $-0,81$; $-0,61$.

При проведении моделирования существенную трудность представил этап оценки достоверности получаемых результатов. Наилучшим и простейшим путем для этого могло бы стать сравнение результатов моделирования с реальными данными. Однако это далеко

Для более детального сравнения оценок математического ожидания времени начала эпидемии в каждой территориальной единице был использован статистический метод сравнения двух выборочных средних в предположении, что они принадлежат нормальной совокупности. Метод основан на распределении Стьюдента (t -распределение) (Закс, 1976). При доверительной вероятности 0,9 были получены следующие данные: в случае начала эпидемии из г. Барнаула расхождения оказались значимыми в 12 территориальных единицах из общего числа 357 единиц с ненулевой людностью, а в случае начала эпидемии из г. Рубцовска — в 18 территориальных единицах. Пространственное размещение этих территориальных единиц фиксировано на картах (рис. 47).

Таким образом, полученные результаты, проверенные как с математической, так и географической точек зрения, можно считать достаточно достоверными. А их близость при различных вариантах построения модели позволяет говорить о правильности использования алгоритма.

IV.1.3. Диффузионные модели пространственного распространения явлений

В отличие от моделирования распространения эпидемий, имеющих вероятностный, скачкообразный характер развития, в географии существует целый ряд явлений, распространяющихся по территории постепенно. В качестве примера можно привести опыт по моделированию так называемых “нововведений”, при заимствовании смысла и терминологии из работ Т. Хегерстранда и большого числа его последователей (Харвей, 1971; Пред, 1979; Хаггет, 1979; Слейтер, Спайсер, 1980; Райтвийр, 1981; Ханин, 1982; Hägerstrand, 1952; Bylund, 1960; Cliff, 1979; Coombs, 1981; Saint-Julien, 1981; и др.). В этих случаях чаще всего ставятся задачи моделирования движения фронта диффузии “нововведений” как некоторой обобщающей абстракции, выражающей в нашем случае постепенный процесс развития явлений по неоднородной территории.

Одним из широко практикуемых способов представления динамики различных явлений в естествознании является “диффузионный процесс”. Его можно рассматривать как процесс переноса вещества, выравнивающий концентрацию данного вещества в пространстве. В работе (Харбух, Бонэм-Картер, 1974) приводится ряд примеров моделей различных геологических процессов, основывающихся на математическом аппарате диффузионного процесса. Авторы данной книги, анализируя конкретные разработки, делают следующий вы-

вод: "Методы математического описания диффузии можно с успехом использовать для моделирования различных реальных процессов, которые не являются процессами "диффузии" в прямом смысле этого слова" (с. 158). Поэтому как первое приближение в моделировании волнообразного распространения "нововведений" нами использовалась детерминистская модель движения фронта диффузии, тем более что в ряде работ, основанных на эмпирических исследованиях, подтверждается, что форма диффузии во времени и пространстве напоминает волну (Morill, 1970). Этот вывод был положен в основу принципов выбора математической модели для нашего эксперимента (Петров, Тикунов, 1983). В данном исследовании использовались лишь самые общие, легко доступные материалы — данные о плотности населения и характере его размещения по территории, которые могут быть использованы как среда, внутри которой распространяется диффузия "нововведений".

При построении модели распространения "нововведений" по территории будем следовать следующей схеме. В каждой элементарной ячейке территории подсчитывается плотность населения. Под элементарной ячейкой условимся понимать ячейку регулярной сетки, покрывающей исследуемую территорию. Элементарные ячейки могут иметь нулевую численность населения. Для того чтобы диффузия могла распространяться и через эту часть территории, их людность можно условно задать малой величиной, большей нуля. С другой стороны, если оставить их людность равной нулю, то процесс моделирования будет реализоваться с условием наличия непреодолимых преград для диффузии, что также представляет интерес.

Все население изучаемой территории разделим на две категории: а) до достижения населения элементарной ячейки "нововведением"; б) после достижения их "нововведением", когда данная группа населения становится его распространителем. В начальный момент времени $t = t_0$ в некоторой совокупности элементарных ячеек должны быть расположены один или несколько центров распространения "нововведений". Это означает, что в них находится ненулевое число распространителей "нововведения" (информаторов). Если число информаторов в элементарной ячейке больше определенной величины R , постоянной для любой ячейки территории, то в ней начинается цепной рост численности информаторов, пока все население не освоит "нововведение". Пусть в некоторый момент времени $t > t_0$ одна из соседней какой-то элементарной ячейки обладает ненулевой численностью информаторов, то тогда согласно соответствующему коэффициенту диффузии c часть информаторов из нее диффузирует

в рассматриваемую элементарную ячейку. Коэффициент диффузии c для каждой элементарной ячейки положим пропорциональным численности населения в ней.

В тот момент времени $t_1 > t_0$, когда в данной элементарной ячейке начинается распространение “нововведения”, коэффициент диффузии c станет уменьшаться, оставаясь пропорциональным численности населения, не охваченного “нововведением”, и в момент $t_2 > t_1$, когда все население освоит “нововведение”, станет равным нулю. Следовательно, $\tau = t_2 - t_1$ есть время освоения “нововведением” данной элементарной ячейки. Таким образом, информаторы будут диффузировать только туда, где сохранилось до этого момента времени неинформированное население. При достижении границы территории информаторы ее не пересекают, т.е. диффузия “нововведений” распространяется только в пределах исследуемой территории.

Как следует из вышесказанного, основное внимание в рассмотренной схеме уделяется вопросу пространственно-временной динамики фронта “нововведений”. Перечисленные условия формализуются математически посредством следующей задачи:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u(x, y, t)}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial x} c(x, y, t) \frac{\partial u(x, y, t)}{\partial x} + \\ &+ \frac{\partial}{\partial y} c(x, y, t) \frac{\partial u(x, y, t)}{\partial y} + f(x, y, t), \end{aligned} \quad (4.12)$$

$$(x, y) \in g, \quad t \geq t_0,$$

где g — территория моделирования; x, y — прямоугольные координаты в области g ; t_0 — начальный момент моделирования; $u(x, y, t)$ — численность информаторов; $c(x, y, t)$ — коэффициент диффузии; $f(x, y, t)$ — функция, характеризующая кривую роста численности информаторов. Здесь (x, y) — координаты элементарной ячейки, где определены $u(x, y, t)$, $c(x, y, t)$ и $f(x, y, t)$, а $t \geq t_0$ соответствующий момент времени.

Начальные и граничные условия задачи имеют следующий вид:

$$u(x, y, t_0) \Big|_{\text{на } g} = u_0(x, y), \quad (4.13)$$

$$\frac{\partial u(x, y, t)}{\partial n} \Big|_{\text{на } \partial g} = 0, \quad (4.14)$$

где $u(x, y, t)$, x, y, t, t_0, g определены выше, ∂g — граница области g , $\frac{\partial u}{\partial n}$ — производная по нормали функции $u(x, y, t)$ в точке границы с координатами (x, y) и в момент времени t , $u_0(x, y)$ — функция распределения информаторов по территории в начальный момент времени t_0 .

Дадим аналитическое определение $c(x, y, t)$ и $f(x, y, t)$. Пусть $z(x, y)$ есть численность населения в элементарной ячейке с центром в (x, y) . Если $\bar{z} = \max_{(x,y) \in g} z(x, y)$, то положим

$$c(x, y, t_0) = z(x, y) / \bar{z}. \quad (4.15)$$

Определим $c(x, y, t)$ для $t > t_0$ следующим образом:

$$c(x, y, t) = \begin{cases} c(x, y, t) & \text{при } t_0 < t < t_1, \\ (z(x, y) - u(x, y, t)) / \bar{z} & \text{при } t_1 < t < t_2, \\ 0 & \text{при } t > t_2. \end{cases} \quad (4.16)$$

При тех же предположениях $f(x, y, t)$ вычисляется по формуле

$$f(x, y, t) = \begin{cases} 0 & \text{при } t_0 \leq t \leq t_1 \text{ и при } t \geq t_2, \\ z(x, y) / \tau(x, y) & \text{при } t_1 < t < t_2. \end{cases} \quad (4.17)$$

Также полагалось, что $\tau(x, y) \approx \sqrt{z(x, y)}$, а именно $\tau(x, y) = \tau_0 \sqrt{\frac{z(x, y)}{\bar{z}}}$, где τ_0 — время освоения “нововведением” всего населения элементарной ячейки с максимальной ее численностью.

Таким образом, процесс пространственного распространения “нововведений” оказывается формализованным в виде задачи, заключающейся в решении уравнения (4.12) с начальными (4.13) и граничными (4.14) условиями. Ввиду невозможности получения аналитического решения данная задача решалась численным методом. А именно приближенное ее решение искалось посредством применения соответствующей “разностной схемы”. Подробное изложение такого подхода к решению дифференциальных уравнений в частных производных можно найти в (Дьяченко, 1977). При построении “разностной схемы” могут использоваться алгоритмы и программы, приведенные в книге (Харбух, Бонэм-Картер, 1974). Пример использования данной модели для территории Алтайского края приведен в работах (Петров, Тикунов, 1983, Тикунов, 1985б).

Описанная методика расчетов может быть легко модифицирована в зависимости от содержательных особенностей географичес-

ких явлений. В качестве другого примера, позволяющего проиллюстрировать изменчивость методики, обратимся к созданию карты транспортной доступности в изохронах (в изолиниях равных издержек и т.д.) (Петров, Тикунов, 1984).

Одним из условий моделирования “нововведений” являлось то, что средняя скорость ее диффузии неизбежно уменьшалась во времени из-за падения средней величины концентрации “информаторов”, что не соответствует задаче определения изохрон доступности. Второе противоречие заключается в том, что в классической модели распространение диффузии зависит от неоднородностей ранее пройденных участков. В данном случае, при моделировании положения изохрон, каждая из них должна лишь определять начальную линию для диффузии, распространяющейся в зависимости от проходимости участков территории за каждый последующий промежуток времени. Для удовлетворения отмеченных ограничений моделирование следует проводить по следующему алгоритму. Пусть в начальный момент времени (t_0) все диффузирующее явление сконцентрировано в области g_0 и имеет внутри нее постоянную концентрацию, равную v_0 , т.е.

$$u_0(x, y) = \begin{cases} v_0, & \text{если } (x, y) \in g_0, \\ 0, & \text{если } (x, y) \notin g_0. \end{cases} \quad (4.18)$$

Решая задачу (4.21)–(4.23), без учета функции $f(x, y, t)$, получаем для любого $t_1 = t_0 + \Delta t$ значение $u(x, y, t_1)$. Зная время t_1 , можно определить область (g_1) распространения явления, используя правило

$$\begin{cases} (x, y) \in g_1, & \text{если } u(x, y, t_1) \geq \bar{v}, \\ (x, y) \notin g_1, & \text{если } u(x, y, t_1) < \bar{v}. \end{cases} \quad (4.19)$$

где $\bar{v} < v_0$ и определяется заранее при постановке задачи. Естественно, что границу области g_1 можно считать требуемой изохроной доступности для момента времени t_1 .

Далее определим $\hat{c}(x, y)$ и $u_1(x, y)$:

$$\hat{c}(x, y) = \begin{cases} c(x, y), & \text{если } (x, y) \notin g_0 \\ 0, & \text{если } (x, y) \in g_0 \end{cases}, \quad (4.20)$$

$$U_1(x, y) = \begin{cases} v_0, & \text{если } (x, y) \in g_1 \\ u(x, y, t_1), & \text{если } (x, y) \notin g_1. \end{cases}$$

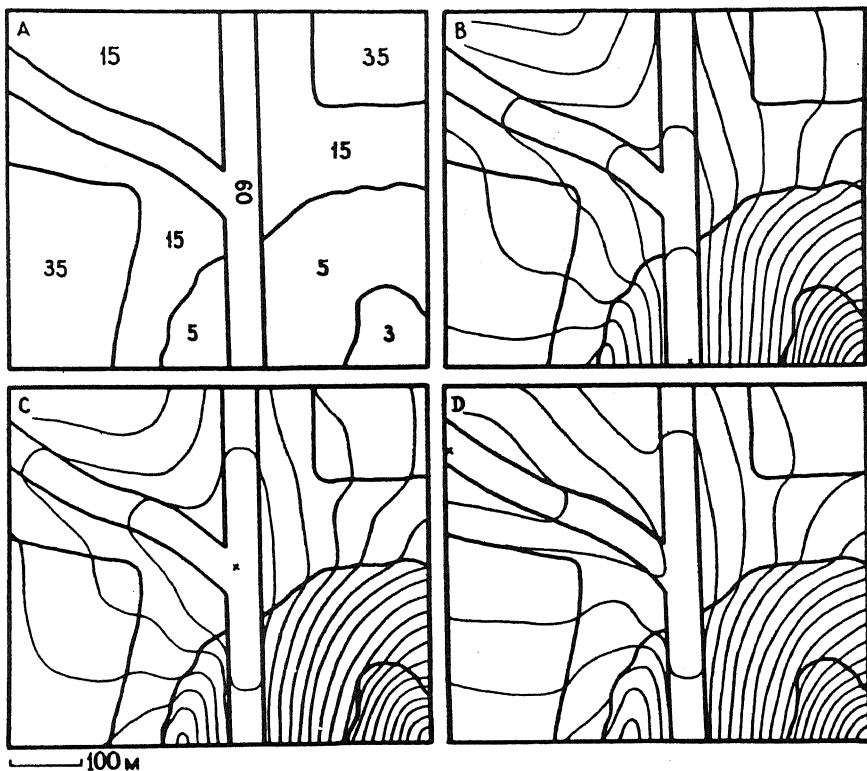


Рис. 48. Представление участка территории и результатов моделирования изохрон: А — участок территории со значениями скоростей передвижения (км/ч); В, С, D — три варианта расчетов доступности территории из различных точек, отмеченных крестиком

Заменяя в уравнениях (4.21)–(4.23) $c(x, y)$ на $\hat{c}(x, y)$, а $u_0(x, y)$ на $u_1(x, y)$ и t_0 на t_1 , при этом сохраняя значение \bar{v} постоянным, можно получить требуемую изохрону в момент $t_2 = t_1 + \Delta t$. Повторяя описанные процедуры для $t_3, t_4, \dots, t_i = t_{i-1} + \Delta t$, определяем требуемые изохроны доступности.

Реализация рассмотренной методики моделирования проводилась нами для небольшого участка местности размером $0,5 \times 0,6$ км, изображенного на рис. 48, А. На данном участке были определены выделы с примерно одинаковой возможной скоростью передвижения по ним (см. рис. 48, А). Далее весь участок был покрыт сетью из 2009 квадратов (49 столбцов и 41 строка), характеризующихся возможной скоростью перемещения внутри них, и задан квадрат начала диффузии (на рис. 48, В, С, D — отмечен крестиками).

Таким образом, все исходные характеристики — $c(x, y)$, $u_0(x, y)$, необходимые для моделирования, могут быть представлены в виде матриц $\{c_{ij}\}$ и $\{u_{ij}^0\}$, где i и j соответственно количество столбцов и строк матриц. При реализации задачи элементы матрицы $\{u_{ij}^0\}$ брались равными нулю, кроме элемента, соответствующего квадрату начала диффузии и равному v_0 . Элементы $\{c_{ij}\}$, соответствующие скоростям передвижения в процессе моделирования, использовались в нормированном виде. Нормировка осуществлялась путем деления фактических величин скорости в каждом элементарном квадрате на максимально возможную для данного участка ее величину, т.е. $0 < c_{ij} \leq 1$. Для всех вариантов моделирования (рис. 48, B, C, D) были взяты следующие параметры: $v_0 = 100$; $v_1 = 10$; $i = 1, 2, 3, \dots, 49$; $j = 1, 2, 3, \dots, 41$. Изохроны проведены через 10 с.

Простота реализации описанной методики позволяет многократное экспериментирование с целью оценки различных возможных вариантов транспортной доступности при изменениях транспортных сетей, прокладке новых путей сообщения и т.д. Использование разновидностей методики может дать не противоречащие географической логике результаты, но в каждом конкретном случае необходимо постоянно следить за соответствием модели характеру явлений, таких, как распространение лесных пожаров, диффузия загрязнения в неоднородных средах, доступность регионов, “расползание” в пространстве некоторых видов эпизоотий и др.

IV.2. МОДЕЛИ ДИНАМИКИ СОДЕРЖАТЕЛЬНОГО РАЗВИТИЯ ЯВЛЕНИЙ

IV.2.1. Марковские модели динамики содержательного развития явлений

Модели динамики содержательного развития явлений связаны с решением важных и весьма насущных задач, прежде всего прогноза, например роста населения городов, объемов промышленного производства и т.д. При некоторых видах прогнозов достаточно хорошие результаты дают модели, основанные на цепях Маркова (Харвей, 1971; Лютый, 1974; Харбух, Бонэм-Картер, 1974; Сербенюк, Тикуннов, 1980; Maccheroni, 1971; Varraso, 1981; и др.). Для того чтобы говорить об использовании данного метода для прогнозирования гео-

графических явлений, необходимо хотя бы вкратце остановиться на основных понятиях о цепях Маркова.

Рассмотрим некоторую систему, которая в любой момент времени (время меняется дискретно) находится в одном из состояний $Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_n$. Эти состояния образуют полную и несовместную систему, т.е. они исчерпывают все из возможных состояний системы, которая в фиксированный момент времени находится только в одном из них. Вероятность $p_{ij}(t_k)$ того, что в момент времени t_k система перейдет в состояние Q_j из состояния Q_i , в котором она находилась в момент t_{k-1} , не зависит от того, в каких состояниях система находилась в предыдущие моменты времени. Последнее положение называется марковским свойством системы. Вероятности перехода $p_{ij}(t_k)$ в своей совокупности образуют матрицу P_{t_k} , причем в каждом ее столбце имеется хотя бы один отличный от нуля элемент. При этом вероятности перехода удовлетворяют в любой момент времени t_k соотношению

$$\sum_{j=1}^n p_{ij}(t_k) = 1, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n, \quad (4.21)$$

где n — количество состояний системы.

Таким образом, процесс изменения состояний системы во времени, удовлетворяющий перечисленным свойствам, называется цепью Маркова. Цепь Маркова будет неприводимой, если каждое состояние системы достижимо из любого другого состояния. Цепь Маркова называется однородной, если вероятность перехода $p_{ij}(t_k)$ не зависит от t_k , т.е. $p_{ij}(t_k) = p_{ij}(i, j = 1, 2, 3, \dots, n$ и любого t_k).

Вектор-строка $p(m) = [p_1(m), p_2(m), p_3(m), \dots, p_n(m)]$ абсолютных вероятностей того, что в момент времени t_m система перейдет соответственно в состояние $Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_m$, определяется формулой

$$p(m) = p(0) \cdot P_{t_1} \cdot \dots \cdot P_{t_m}, \quad (4.22)$$

а для однородной цепи —

$$p(m) = p(0) \cdot P^m, \quad (4.23)$$

где $P = [p_{ij}]$, а $p(0)$ — начальная строка абсолютных вероятностей. Подробнее о цепях Маркова можно прочесть в работах (Романов-

ский, 1949; Хорафас, 1967; Венцель, 1969; Смирнов, Дунин-Барковский, 1969; и др.).

Следует обратить внимание, что не всякий географический процесс может моделироваться с помощью цепей Маркова. Прежде всего, вычислив матрицу вероятностей переходов, следует убедиться, обладает ли исследуемый процесс марковским свойством, а также проверить, является ли данный процесс однородным. Подробно критерии проверок на марковское свойство и однородность изложены в работах (Харбух, Бонэм-Картер, 1974; Anderson, Goodman, 1957).

Для иллюстрации процесса моделирования, предполагая, что процесс однороден, и фиксируя в каждый текущий момент времени номер состояния системы, можно путем элементарных арифметических операций показать этапы вычисления искомой матрицы вероятностей переходов. Пусть система имеет возможность находиться в состояниях Q_1 и Q_2 . Также допустим, что в течение семи последовательных моментов времени система имела следующие состояния: $Q_1, Q_1, Q_2, Q_1, Q_2, Q_2, Q_1, Q_2$. Данный ряд позволяет построить следующую таблицу:

	(x)		
(xx)	1	2	(xxx)
1	1	3	4
2	2	1	3

где (x) — номер послепереходного состояния системы; (xx) — номер предпереходного состояния; (xxx) — количество раз, когда система находилась в предпереходный момент времени в соответствующем состоянии.

Из таблицы видно, что система один раз перешла из состояния Q_1 в Q_1 , три раза — из Q_1 в Q_2 и т.д., а четвертый столбец свидетельствует, что четыре раза система переходила из Q_1 в Q_1 или Q_2 и три раза — из Q_2 в Q_1 или Q_2 . Далее несложно вычислить матрицу вероятностей переходов. Для этого каждый элемент строк первых двух колонок делится на величины соответствующей строки последней колонки. В итоге получаем

$$P = \begin{bmatrix} 0,25 & 0,75 \\ 0,76 & 0,33 \end{bmatrix}.$$

Получив матрицу переходных вероятностей P , можно приступить к вычислению прогнозных величин явления на определенное число

шагов — m . Заметим, что алгоритм вычисления прогнозных значений может иметь детерминированный или стохастический характер. В детерминированном случае на основе уравнения (4.30) находится величина $p(m)$, позволяющая определить математическое ожидание прогнозируемой величины. При стохастическом подходе, используя значения случайной величины, равномерно распределенной на отрезке $[0, 1]$, на каждом шаге разыгрывается состояние, в которое переходит система, что повторяется m раз для каждого из этапов.

В нашем эксперименте требовалось вычислить прогнозные значения людности городов, для чего использовался следующий вариант алгоритма. Убедившись, что процесс обладает марковским свойством и однороден, можно, используя временной ряд людности населения какого-либо города, вычислить матрицу переходных вероятностей. Это позволяет вычислить прогнозную величину. В математическом выражении процедура заключается в следующих действиях. Пусть x_i — численность населения города в i -й год. Образует ряд $y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$, где y_i вычисляется по формулам

$$y_i = 1, \quad y_{i+1} = \frac{x_{i+1}}{x_i}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n-1, \quad (4.24)$$

где n — длина временного ряда людности городов.

Далее выбирается шкала прироста населения. Под ней понимается набор непересекающихся интервалов, причем учитывается, чтобы в каждый из них попадало по крайней мере одно из значений y_i . Пусть таких интервалов будет l . Используя данную шкалу и ряд $y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$, построим следующий ряд: $z_1, z_2, z_3, \dots, z_n$, где z_i — номер интервала шкалы, в который попадает y_i . После этого вычисляем матрицу переходных вероятностей. Ее p_{ij} элементы ($i, j = 1, 2, 3, \dots, l$) вычисляются следующим образом. Сначала находятся числа f_{ij} , равные числу переходов от i к j в ряде $z_1, z_2, z_3, \dots, z_n$. Затем подсчитываются суммы f_{ij} в каждой строке, т.е. $\omega_i = \sum_{j=1}^l f_{ij}$, $i = 1, 2, 3, \dots, l$, и уже затем вычисляются p_{ij} :

$$p_{ij} = \frac{f_{ij}}{\omega_i}. \quad (4.25)$$

Вычисление прогнозной величины производится следующим образом. Находится номер интервала, которому принадлежит величина

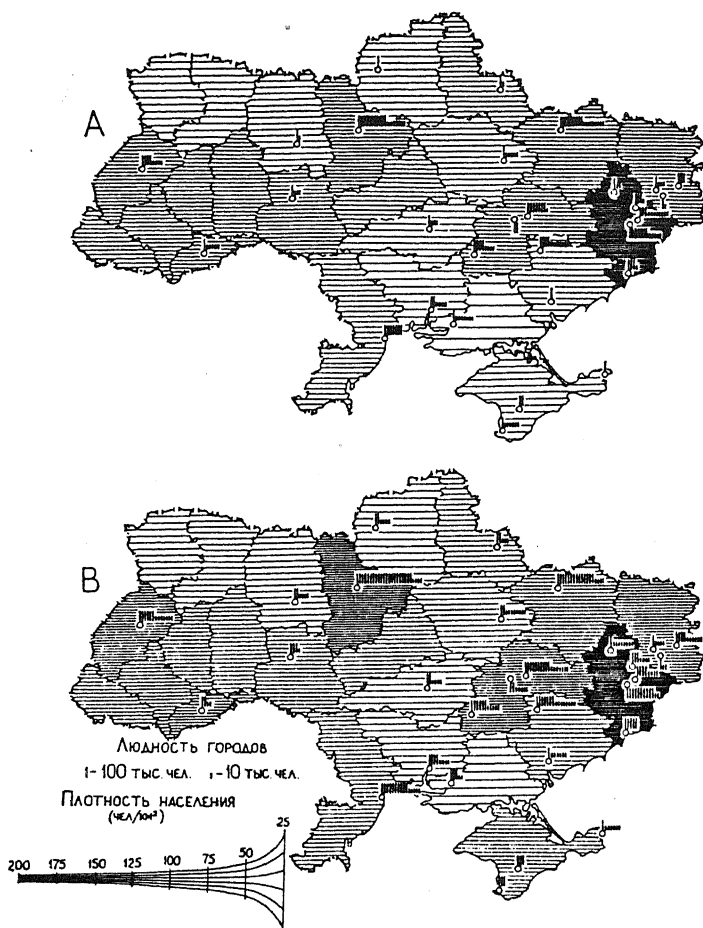
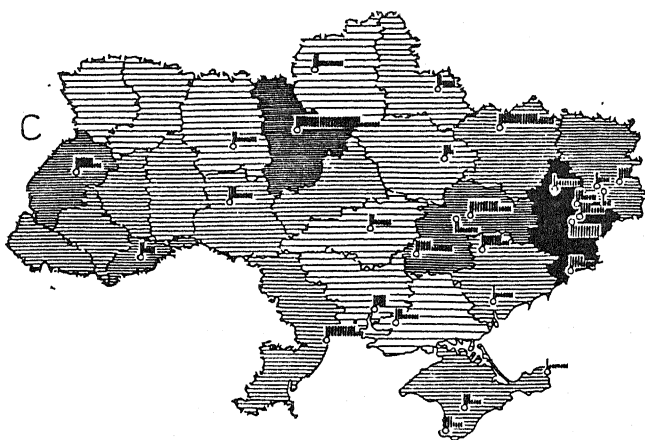


Рис. 49. Прогнозные карты людности крупнейших городов и плотности населения по областям Украины: А — фактические данные за 1961 г.; В — фактические данные за

на, равная единице (так как полагалось, что в начальный момент относительный прирост населения равен единице). Пусть этот номер равен j . Образовав вектор $p(0) = (0, \dots, 0, 1, 0, \dots, 0)$, где на j -м месте стоит единица, а на остальных нули, необходимо умножить его на $P = [p_{ij}]$ в степени m и получить вектор $p(m)$. На основании $p(m)$ вычисляется математическое ожидание величины относительного прироста численности населения данного города на m -й год. Оно находится по формуле

$$\zeta_m = \sum_{j=1}^l p_j(m) \cdot \xi_j, \quad (4.26)$$



1979 г.; C — прогнозные данные, полученные с помощью цепей Маркова, на 1985 г.;
 D — прогнозные данные, полученные с помощью регрессии, на 1985 г.

где ξ_i — середина соответствующих интервалов шкалы прироста населения. Перемножив произведения ($\xi_1 \cdot \xi_2 \cdot \xi_3 \cdot \dots \cdot \xi_m$) на абсолютную численность населения в начальный момент времени, получаем прогнозную величину на m -тый год. Понятно, что для каждого города надо вычислять соответствующую матрицу P и на ее основе моделировать изменения в людности городов. Программы, позволяющие производить необходимые вычисления на ЭВМ, можно найти в ряде работ, например Дж. Харбуха и Г. Бонэм-Картера (1974).

Нами использовался алгоритм построения цепи Маркова с населением более 100 тыс. жителей по данным за 1961–1979 гг. (Сер-

бенюк, Тикунов, 1980). Достаточно длинный временной ряд в 19 лет позволил дать прогноз по 33 городам, имевшим более 100 тыс. населения в 1961 г., на каждый год, начиная с 1980 и до 1985 г. Для того чтобы с максимальной точностью отобразить на карте как фактическое состояние, так и прогноз, использовался растровый способ (Ширяев, 1968) для их картографирования.

Кроме того, за те же годы по аналогичному алгоритму дан прогноз плотности населения по всем 25 областям Украины. Чтобы в пределах графической точности без ступеней закартографировать данный показатель, имеющий площадное распространение, применялось следующее правило. Расстояния между линиями штриховок рассчитывались для каждой области пропорционально величинам плотности населения. Соответствующие карты на начальный (1961) и конечный (1979) годы базового для исследования периода приведены на рис. 49, А и В. Прогнозная карта на 1985 г. изображена на рис. 49, С. Хорошая аппроксимация фактических данных вычисленными уравнениями позволила получить кондиционный прогноз. Ошибка не превышает 6–8%.

IV.2.2. Регрессионные модели содержательного развития явлений

Регрессионные модели для целей прогнозирования развития географических явлений используются значительно чаще (Победоносцева, 1973, 1974; Сербенюк, Жуков, 1973; Червяков, Михайлов, Лайкин, 1974; Сербенюк, Тикунов, 1981; Березнер, 1982; и др.). В этом случае задача состоит в экстраполяции, т.е. в нахождении функции y при значении аргумента x , лежащего вне исследуемого интервала $(x_1 \div x_n)$. Это позволяет распространить выявленные закономерности изучаемого ряда за его пределы, иными словами, прогнозировать будущее развитие данного явления. Задачи с использованием регрессионных моделей могут решаться с различной степенью точности. Наиболее приближенно — вычисление самой простой формы регрессии — линейной. Пусть y — случайная величина, распределение которой зависит от некоторой независимой переменной x . В результате наблюдений, измерений и т.д. определяется n пар значений: (x_1, y_1) , (x_2, y_2) , (x_3, y_3) , ..., (x_n, y_n) .

Соотношение линейной регрессии между y и x можно записать как

$$y = a_0 + a_1x + v, \quad (4.27)$$

или в сокращенном виде

$$NA = Y, \quad (4.31)$$

где N — матрица $(n \times m + 1)$, состоящая из коэффициентов системы параметрических уравнений (4.29); A — вектор-столбец неизвестных коэффициентов полинома $(a_0, a_1, a_2, \dots, a_m)$; Y — вектор-столбец свободных членов. Согласно принципу наименьших квадратов иско-мое решение находится из нормальной системы уравнений

$$N'NA = N'Y \text{ или } A = (N'N)^{-1} N'Y. \quad (4.32)$$

Решение системы уравнений (4.32) позволяет определить значения коэффициентов полинома $a_0, a_1, a_2, \dots, a_m$.

Заметим лишь, что для прикладных целей нередко целесообразно не назначать предварительно степень полинома, а искать для у аналитическое полиномиальное выражение в процессе последовательных приближений. Вначале можно исходить из линейной функции $y = a_0 + a_1x$, затем, если окажется нужным, перейти к функции $y = a_0 + a_1x + a_2x^2$ и т.д. до тех пор, пока вследствие малости квадратов остающихся отклонений полином не станет удовлетворять по точности решению поставленной задачи.

На основе временных рядов людности городов и плотности населения Украины рассчитывалось семь вариантов прогноза, при аппроксимации рядов полиномами, начиная с первой и заканчивая седьмой степенью. Чтобы для каждого ряда подобрать наиболее подходящую степень полинома, были проведены дополнительные расчеты. Временные ряды всех городов и областей были укорочены на шесть лет (до 1973 г.)^{*} и затем экстраполированы на шесть лет вперед при использовании полиномов с первой по седьмую степень. Сравнение вычисленных и фактических значений за период с 1973 по 1979 г. позволяет выбрать наилучшую для прогноза степень полинома для каждого города и области.

Оказывается, что в большинстве случаев наилучший прогноз получается при использовании полиномов первой или второй степени, реже третьей и четвертой степеней, что, видимо, связано с большой плавностью изменения значений людности от года к году. Ошибка прогноза не превышает 5–7%. Полиномы высоких степеней значи-

^{*} Ряды укорачивались на шесть лет, так как прогноз давался также на шесть лет вперед (до 1985 г.).

тельно увеличивают ошибку прогноза. Выбрав, таким образом, наилучшую степень полинома для каждого города и области и предполагая, что она окажется наиболее приемлемой и для прогнозного периода, вычисляются соответствующие прогнозные величины на 1985 г. В настоящее время, когда сделанный прогноз уже легко проверяется по фактическим значениям людности, можно утверждать, что сделанное предположение оказалось верным, а ошибка прогноза соизмерима с результатом, полученным при использовании цепей Маркова. Картографирование спрогнозированных данных позволяет создать соответствующую карту (рис. 49, D).

Сравнение результатов прогноза, полученных с использованием цепей Маркова и алгоритма, основанного на выборе наилучшей степени полинома при экстраполировании по уравнениям регрессии, свидетельствует о их большой схожести. Однако сразу же следует оговориться, что прогнозные значения могут рассматриваться лишь как общие оценки и корректироваться на основе не учитываемых в модели миграций, функционального типа городов, директивных решений, например, о строительстве крупного завода и т.п., которое приведет к росту населения и др. Некоторые из факторов, влияющие на рост городов, могут быть дополнительно учтены при использовании множественной регрессии. Но и в этом случае, при анализе сложных многофакторных явлений, оказываются чрезвычайно важными последующий географический анализ результатов и правильный, обоснованный подбор принципов и методики прогнозирования.

Заметим, что временные ряды людности, как правило, имеют достаточно плавные изменения. В этом смысле гораздо сложнее экстраполирование временных рядов, например урожайности сельскохозяйственных культур, хотя и такие примеры можно найти в литературе (Рогач, 1969; Пономаренко, 1971; Победоносцева, 1973, 1974; Червяков, Михайлов, Лайкин, 1974; Сербенюк, Тикунов, 1981; Березнер, 1982; и др.).

Глава V

КОНСТРУИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ МАТЕМАТИКО-КАРТОГРАФИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

V.1. КОНСТРУИРОВАНИЕ ЦЕПОЧКООБРАЗНЫХ МОДЕЛЕЙ

Конструирование сложных моделей представляет собой единый процесс, осуществляемый путем комплексирования моделей из элементарных звеньев (см. гл. I). Наиболее распространенным видом таких моделей могут стать цепочкообразные конструкции, в которых каждый новый элемент создается на основе результата реализации предыдущего элемента — элементарного звена (см. рис. 2, а). Так как результат каждого этапа моделирования можно представить в виде карты, то это позволит картографу контролировать и корректировать весь процесс моделирования, реализуемого в этом случае, как правило, в диалоге “человек—машина”.

Конструирование сложной цепочкообразной модели проводилось нами на примере исследования природных условий для целей химизации сельскохозяйственного производства (Тикунов, Флоринский, 1981). Задачей данного исследования являлось выделение однородных в агрохимическом отношении участков поля для выбора оптимальной структуры вносимых в почву удобрений. Известно, что эффективность применения средств химизации сельского хозяйства в значительной степени зависит от того, насколько объективно учтены природные условия каждого конкретного поля при определении доз и сочетаний удобрений. Многообразие природных условий требует индивидуального подхода к каждому полю или группе однотипных полей, а в некоторых случаях при детальном исследовании даже к частям полей при разработке конкретных планов применения средств химизации. В результате этого количество технологий применения удобрений практически становится равным количеству отдельно обрабатываемых участков. Однако в условиях практической деятельности хозяйств при современном уровне организации и механизации работ по приме-

нению средств химизации реализовать эту задачу практически невозможно.

Решению отдельных частей этой сложной задачи, на наш взгляд, может помочь использование карт, характеризующих различные пространственные аспекты распределения элементов питания растений в почве, ее влажности и т.д. Кроме того, методы математического моделирования позволяют совместно исследовать целый набор показателей и на их основе производить группировку отдельных почвенных участков в выделы (таксоны) примерно с одинаковыми природными условиями, требующими внесения тех или иных доз и сочетаний удобрений. При этом количество таксонов благодаря использованию многовариантных алгоритмов можно выделить в зависимости от организационно-хозяйственных возможностей колхоза или совхоза.

Проведенный опыт осуществлялся на дерново-подзолистых почвах экспериментального опытного поля в Госплемзаводе им. В.Н. Цветкова Малоярославецкого района Калужской области. Опытное поле площадью 270×192 м (5,2 га) было разбито на 288 делянок. Размер делянки — 180 м^2 (ширина 6 м, длина 30 м)*. Агрохимическое обследование почв выполнялось до внесения в них удобрений.

На опытном поле было отобрано 48 контрольных делянок. С каждой такой делянки был взят один смешанный образец, состоящий из 50 индивидуальных проб, равномерно распределенных по всей площади делянки. Глубина отбора почвенных образцов 25 см. В 12 типичных участках опытного поля были организованы площадки по наблюдению за влажностью почвы на различных глубинах — от 10 до 100 см с интервалом 10 см. Значения влажности определялись как средние величины по всей глубине наблюдаемого почвенного слоя для всех 12 участков. В почвенных образцах определялось содержание подвижного фосфора, обменного калия, нитратов, обменного кальция, обменного магния, марганца, кислотности почв; определялась также оптическая плотность поверхностного пахотного слоя каждой делянки методами, предусмотренными отраслевыми стандартами агрохимслужбы. Учет урожайности ячменя сорта “Надя”, которым засеивалось данное поле, производился прямым комбайнированием с учетной площади 100 м^2 .

На опытном поле также была произведена мензуральная съемка. Составленная на ее основе карта рельефа в горизонталях приведе-

* На рис. 58 две делянки образуют таксон, отмеченный в легенде карты номером 2, что дает представление об относительной величине делянок.

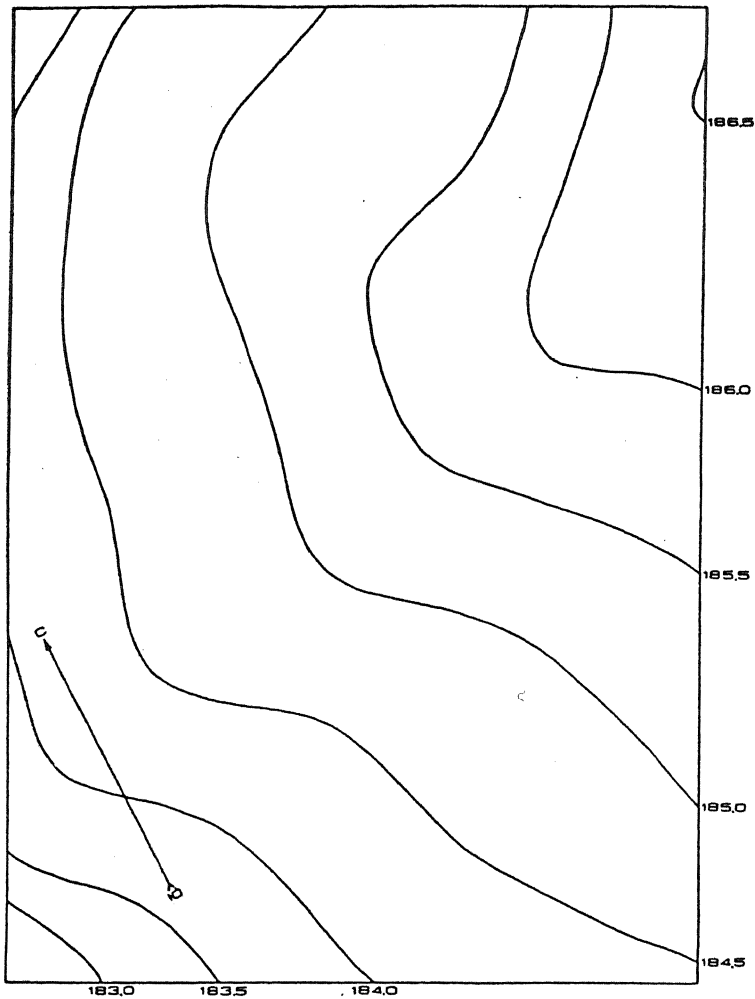


Рис. 50. Рельеф изучаемого поля

на на рис. 50. Используя информацию данной карты, можно вычислить углы наклона и экспозицию склонов в любой точке поля, изображенного на карте. Наиболее удобно эти характеристики вычислять в узлах регулярной сети, шаг для которой определялся в нашем случае шириной ранее выделенных делянок, т.е. был равен 6 м на местности. Причем узлы решетки располагались так, что в каждой из делянок попадало по пять узлов. Средний узел центрировался по центральной точке делянки, а по два других симметрично отстояли от нее к краям вдоль полосы делянки. Построенная таким

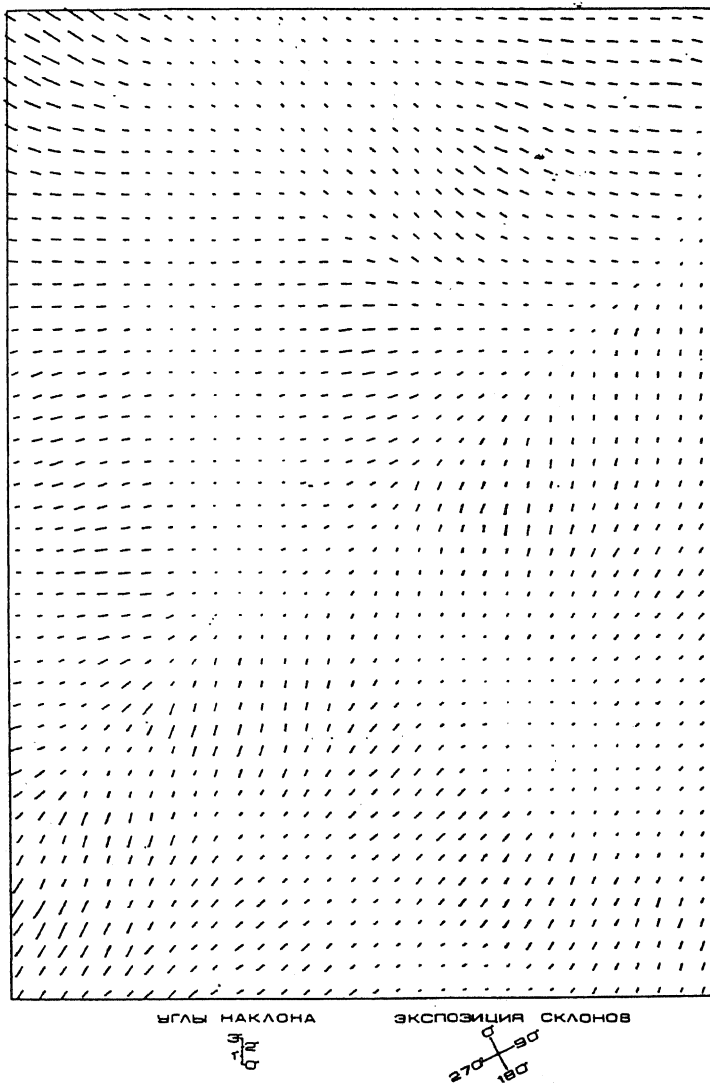


Рис. 51. Углы наклона и экспозиции склонов

образом сеть квадратов равномерно покрывает всю исследуемую площадь. Для вычисления углов наклона и экспозиции склонов в ее узлах использовался специально разработанный для этой цели алгоритм (Коз, Тикунов, Торп, 1981). Вычисленные характеристики изображались на карте так, что длина штриха соответствовала углу наклона, а его ориентация от северного направления — экспозиции склона (рис. 51).

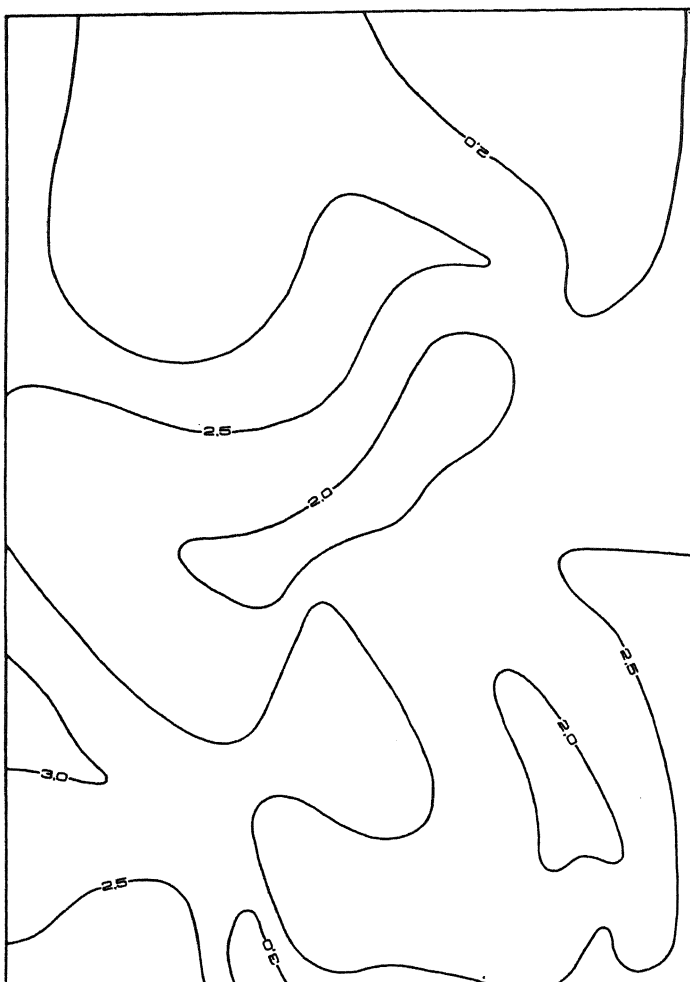


Рис. 52. Процентное содержание гумуса в почве

Другие же показатели имеют характеристики лишь по 48 контрольным делянкам, а влажность почвы и того меньше — лишь в 12 участках поля. Была поставлена задача привести всю систему показателей к сопоставимому виду, а также отобразить их для возможности предварительного анализа в виде аналитических карт. Для этого нами использовался алгоритм пространственной регрессии — аппроксимации, вычисляемой по 48 или 12 точкам с известными значениями показателей. Алгоритм позволил экстраполировать (воссоздать) заданную в исходных точках поверхность во всех узлах решетки, идентичной той, что использовалась для вычисле-

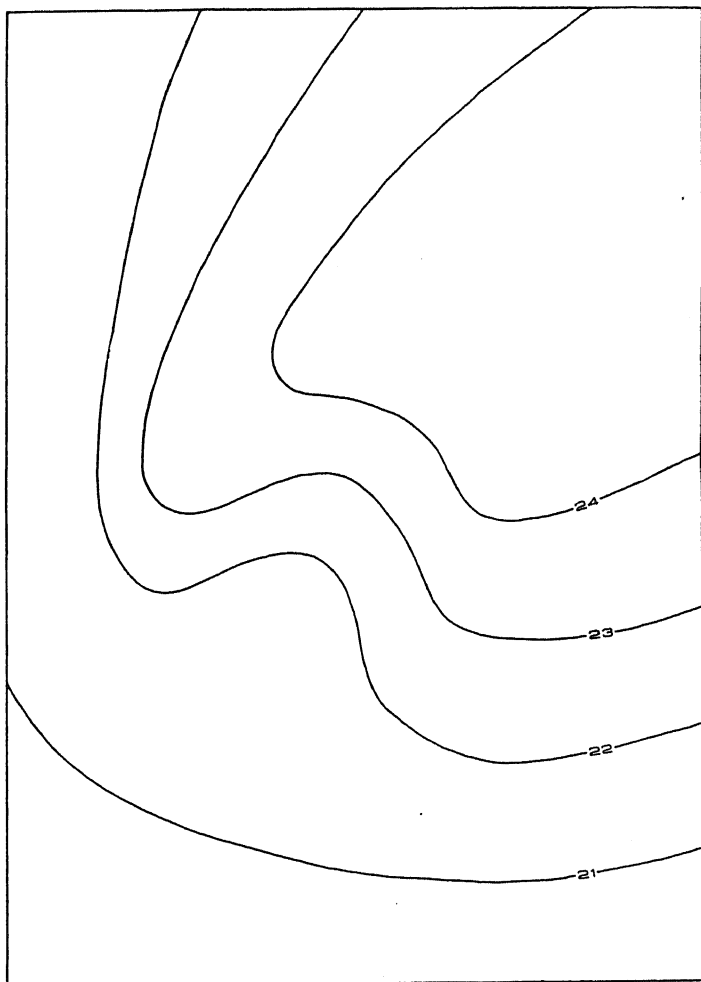


Рис. 53. Средние значения влажности почвы

ния углов наклона. Это дало возможность получить в одних и тех же точках значения всех исходных показателей, что необходимо для дальнейших расчетов. Аппроксимированные значения показателей в узловых точках использовались также для построения аналитических карт исходных показателей. Для примера приведем карту процентного содержания гумуса в почве (рис. 52) и средних значений влажности почвы (рис. 53).

Визуальный анализ карт исходных показателей уже позволяет сделать некоторые выводы. Например, то, что для данного поля в пониженных местах, как правило, наблюдается большее процентное

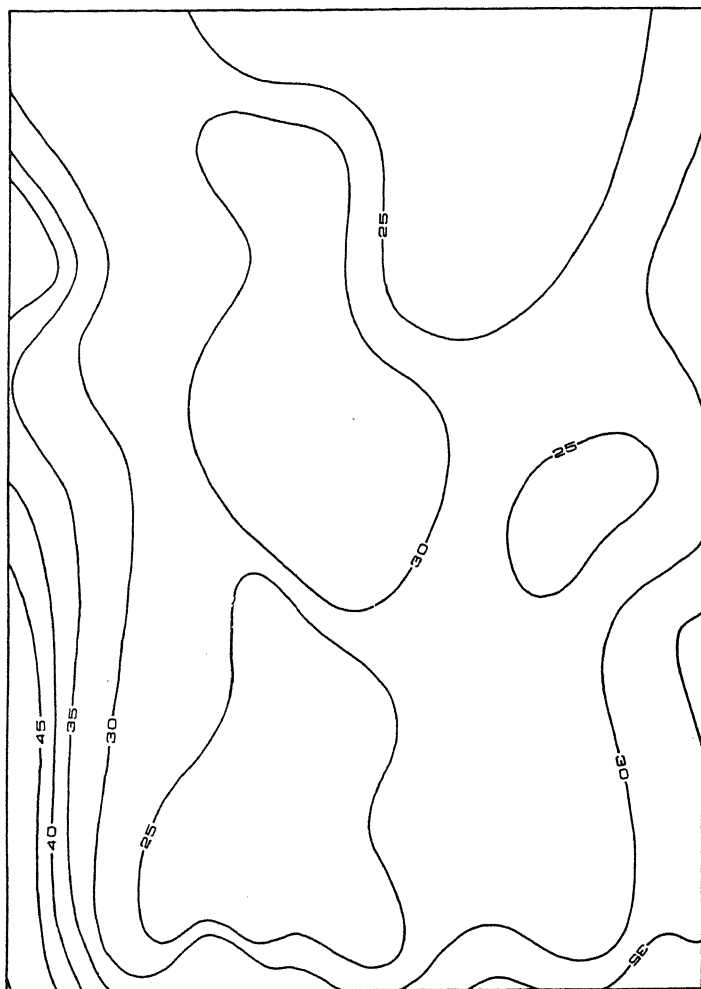
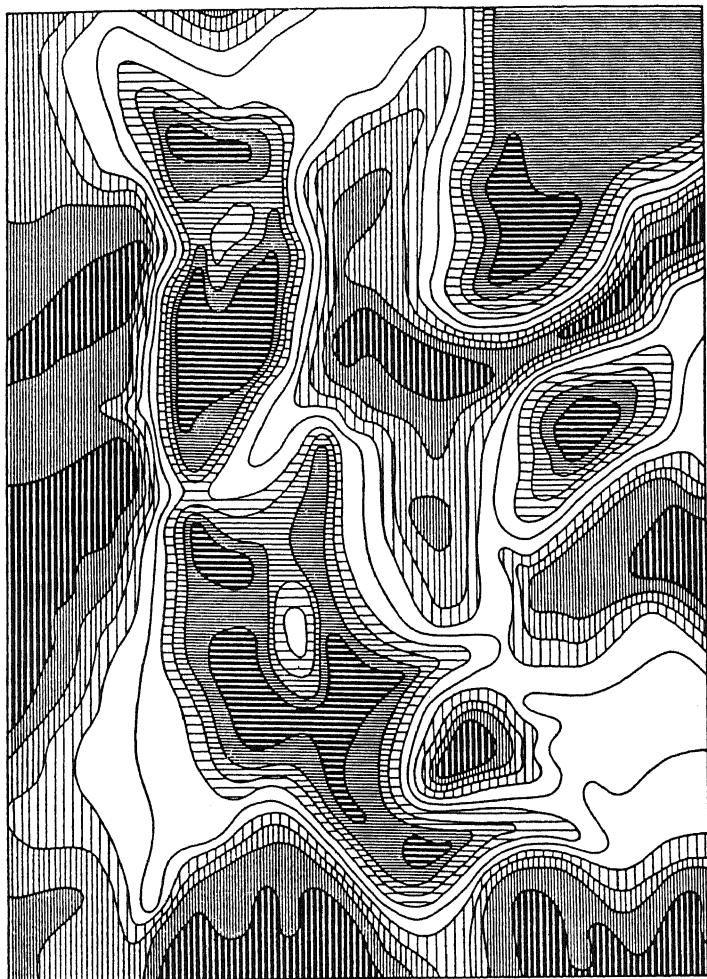


Рис. 54. Урожайность ячменя

содержание гумуса (см. рис. 50 и 52). Но, что очень интересно, проявляется инверсионная картина степени увлажненности почвы по отношению к рельефу. Это, по-видимому, связано с подпиткой грунтовых вод северо-восточного участка поля протекающим неподалеку ручьем (см. рис. 50 и 53). Определенный интерес представляет и сравнение данных карт с аналогично созданной картой фактической урожайности ячменя (рис. 54). Вновь более высокое процентное содержание гумуса даже визуально хорошо согласуется с зонами более высокой урожайности ячменя. Влажность же находится в обратной зависимости от урожайности, что в первом приближе-



ШКАЛА КОЭФФИЦИЕНТОВ КОРРЕЛЯЦИИ

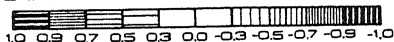


Рис. 55. Корреляции между урожайностью ячменя и влажностью почвы

нии наводит на мысль о ее избыточности для некоторых участков данного поля в годы со средним количеством осадков.

Чтобы более детально проанализировать эту зависимость, прокоррелируем статистические поверхности урожайности и влажности между собой (Берлянт, Тикун, 1977) и составим карту коэффициентов корреляции (рис. 55). Эта карта показывает степень соответствия двух поверхностей. Интересно то, что она в значительной

степени повторяет по своим очертаниям изолинии урожайности. Так, более низкие значения урожайности главным образом соответствуют высоким положительным коэффициентам корреляции и наоборот. Это вновь подтверждает мысль о некотором переувлажнении почвы отдельных частей поля, отрицательно сказывающемся на величине урожайности ячменя.

Аналогичные карты корреляций между урожайностью и другими показателями свидетельствуют о их взаимосвязи и важности учета всех показателей при определении норм и вида вносимых в почву удобрений. Лишь экспозиция склонов и урожайность не имели никакой логической взаимосвязи, выразившейся в хаотическом изменении коэффициентов корреляции. Видимо, для данного поля экспозиция склонов не оказывает никакого закономерного влияния на территориальное распространение зон различной урожайности ячменя, поэтому данный показатель из дальнейших расчетов был исключен.

Чтобы оценить степень влияния всего комплекса показателей, на их основе был реализован алгоритм компонентного анализа. Расчеты по данному алгоритму приводят к получению матрицы нагрузок главных компонент на показатели. Данная матрица интересна для ее географического анализа, но она не позволяет картографировать и исследовать пространственное варьирование ее значений. Для этого можно перемножить матрицу исходных нормированных показателей на матрицу компонентных нагрузок и получить результирующую матрицу нормированных исходных показателей, взвешенных по компонентным нагрузкам. Данная матрица поддается картографированию по каждой компоненте.

Анализ матрицы нагрузок главных компонент на показатели выявил, что первая компонента имеет наибольшие нагрузки на показатели 2, 3, 5, 6, 7, 8 и может трактоваться как выражающая главным образом комплекс показателей, характеризующий распространение химических элементов в почве. Картографическое представление весов первой компоненты дано на рис. 56. Первая компонента, выбрав максимум дисперсии (более 30%) из всей совокупности исходных показателей, на долю второй компоненты оставляет достаточно большие нагрузки лишь на 1, 3, 4 и 11-й показатели. Эта компонента выражает главным образом их интегральное влияние, охватывая около 20% дисперсии, что в совокупности с первой компонентой составляет более 50%. Веса второй компоненты показаны на рис. 57. В целом же уже семь первых компонент охватывают в сумме более 90% дисперсии. Поэтому можно утверждать, что

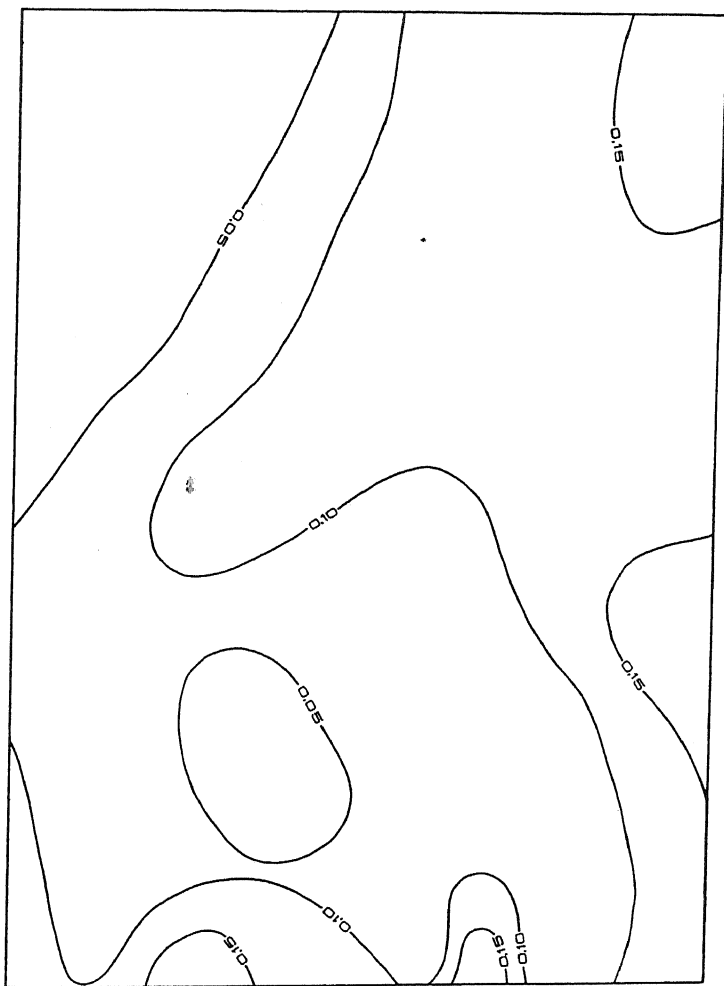


Рис. 56. Веса первой главной компоненты

веса семи главных компонент в достаточной мере характеризуют весь набор показателей и могут использоваться в дальнейших расчетах вместо исходной системы показателей.

Использование первых семи ортогонализированных характеристик вместо одиннадцати исходных показателей в определенной мере исключает случайную составляющую вариации исходных показателей и приводит их систему к ортогональному виду. Второе положение является необходимым для возможности использования многомерных математических алгоритмов, базирующихся на использовании евклидовых расстояний и удобных для целей диффе-

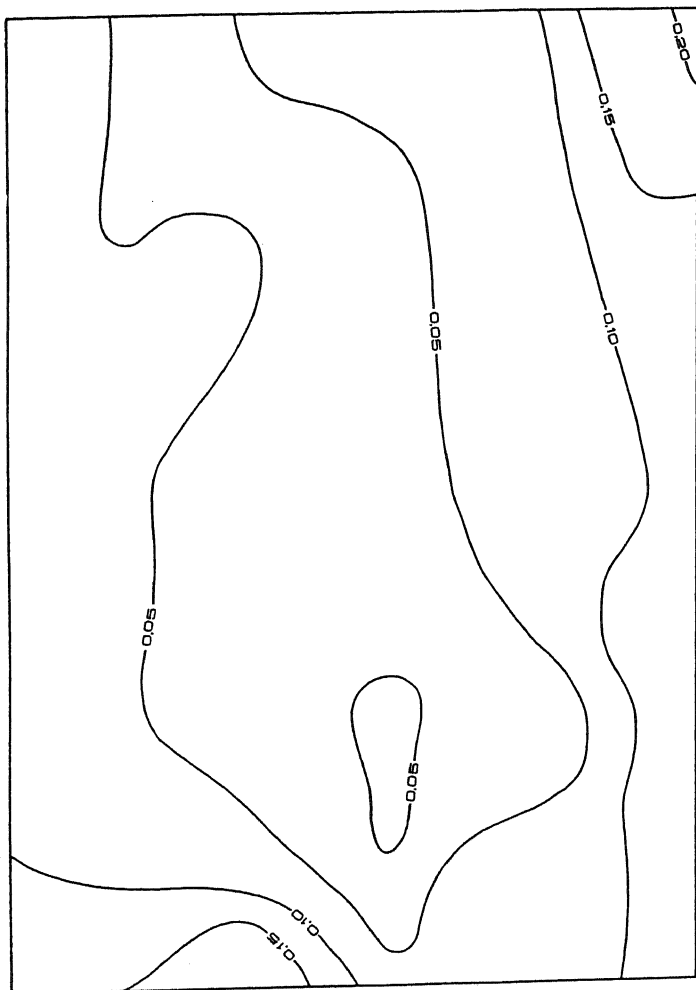


Рис. 57. Веса второй главной компоненты

ренциации всего исследуемого поля на выделы (таксоны), включающие в себя делянки с достаточно однородными величинами исходных показателей, что определяется количеством таксонов (рис. 58). Это позволяет во все делянки поля, отнесенные к одному таксону, вносить одинаковые дозы и сочетания удобрений, а средние значения всех показателей (табл. 3) дают информацию, необходимую для подбора вида и количества вносимых удобрений.

При создании карты, приведенной на рис. 58, использовался многовариантный алгоритм типологии (Тикунов, 1978), позволяющий

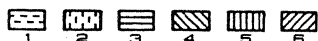
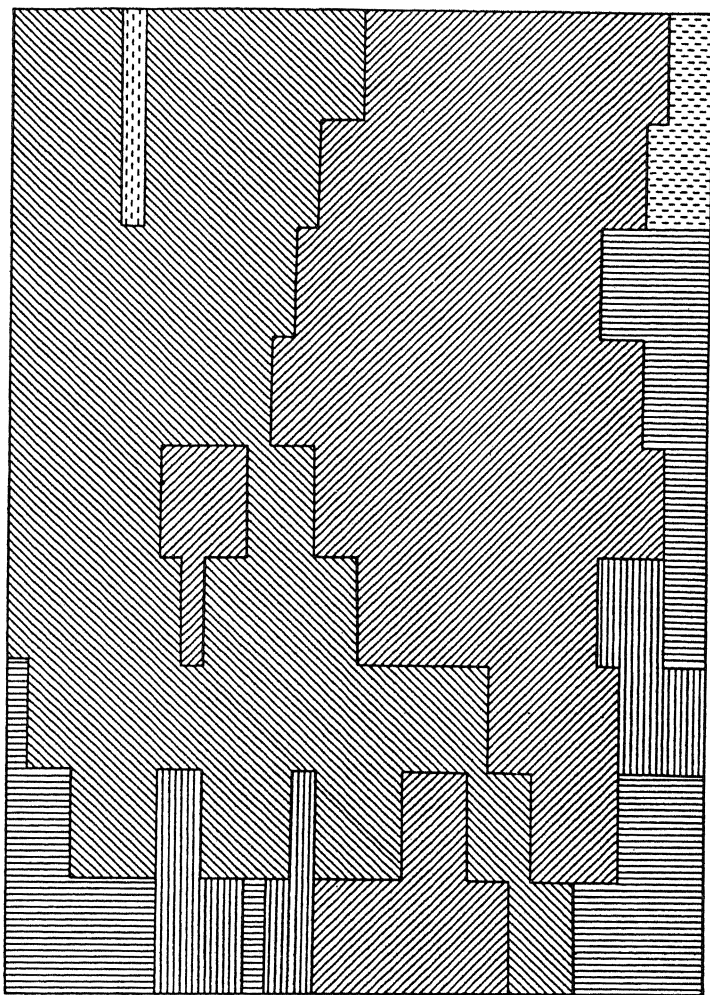


Рис. 58. Агрохимические типы делянок поля

сгруппировать делянки в таксоны на основе комплекса показателей, ортогонализированного с помощью метода главных компонент. Использование данного многовариантного алгоритма позволяет выбрать вариант группировки делянок с наиболее целесообразным для данного поля количеством таксонов на основе специальных коэффициентов неоднородности. Выбранный нами окончательный вариант дифференциации территории имеет 6 таксонов. На-

пример, первый таксон на карте, изображенной на рис. 58, имеет резко увеличенное содержание обменного калия и магния, наибольшее по сравнению с другими таксонами содержание марганца и в то же время наименьшее содержание подвижного фосфора и самую маленькую кислотность (см. табл. 3). Анализ всех таксонов свидетельствует о том, что практически для всего поля, за исключением пятого таксона, требуется известкование. Однако если в пределах первого и второго таксонов доза извести для нейтрализации кислотности находится в пределах 7–9 т/га, то в пределах третьего и четвертого таксонов эта доза может быть снижена в два раза. Полученные результаты показывают, что при наличии ограниченного фонда фосфорных и калийных удобрений фосфор в первую очередь надо вносить в делянки первого и второго таксонов, а калий — в делянки пятого таксона.

Таблица 3
Средние показатели для выделенных таксонов

Показатели	Номера таксонов согласно рис. 58					
	1	2	3	4	5	6
1. Гумус (%)	2,1	2,3	2,4	2,4	2,5	2,2
2. Кислотность (рН _{KCl})	4,2	4,4	4,7	5,0	5,9	4,7
3. Подвижный фосфор (мг/кг)	51	72	92	97	141	75
4. Обменный калий (мг/кг)	175	126	132	126	111	116
5. Нитраты (мг/кг)	11,1	4,9	12,4	10,8	7,1	7,4
6. Обменный кальций (мг · экв/100 г)	7,1	6,5	8,2	7,2	9,3	6,9
7. Обменный магний (мг · экв/100 г)	1,4	0,7	0,7	0,9	0,6	0,7
8. Марганец (мг/кг)	61	50	53	44	17	49
9. Влажность	24,8	22,1	21,2	21,9	21,1	23,0
10. Углы наклона	1,10	0,51	0,99	0,87	0,94	0,73
11. Оптическая плотность	0,89	0,97	0,96	0,94	0,99	0,96

Проведенное исследование в классическом виде воспроизводит этапы конструирования типичной цепочкообразной модели. Так, на основе карты рельефа был реализован алгоритм вычисления углов наклона и экспозиции склонов, а также по исходным данным соз-

даны карты аппроксимации всех остальных исходных показателей, что определило первое звено цепочки. Этот этап послужил основой для построения второго звена, когда на базе корреляционной модели были созданы корреляционные карты. Компонентный анализ и карты первых главных компонент образовали третье звено и, наконец, алгоритм дифференциации территории и соответствующая карта обозначили последнее звено сложной модели. Такое конструирование многоступенчатой модели позволило на каждом этапе при построении карт корректировать набор показателей (например, был исключен из расчетов показатель экспозиции склонов) и производить определенный анализ, необходимый для познания всего явления, характеризуемого целым набором показателей в их взаимной связи.

V.2. КОНСТРУИРОВАНИЕ СЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ

Построение сетевых моделей основано на многовариантности моделирования. Так, на основе одного массива исходных данных возможно реализовать несколько математических алгоритмов, которые позволяют получать близкие или аналогичные результаты с последующим их сопоставлением и созданием результирующей карты. Конструирование сетевой модели показано нами на примере количественного определения уровней развития отраслей обрабатывающей промышленности по префектурам Японии. Исходный статистический материал для эксперимента заимствован из работы (Росин, Тикунов, 1982). Прежде всего вкратце остановимся на системе показателей-индикаторов, с нашей точки зрения, в достаточной мере отражающей уровень развития промышленности (табл. 4).

Индексы индустриализации ($I_{и}$) и концентрации ($I_{к}$) дают возможность количественно оценить плотностные различия в размещении обрабатывающей промышленности по территории Японии. Напомним, что индекс индустриализации рассчитывается как отношение доли префектуры в обрабатывающей промышленности к ее доле в населении; индекс концентрации — к доле в площади. Ценность этих индексов повышается при совместном их рассмотрении с коэффициентом специализации (K_c), который выражает степень отклонения структуры отраслевого состава данной префектуры от отраслевой структуры обрабатывающей промышленности Японии в целом:

$$K_c = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m |a_{ij} - A_i|, \quad j = 1, 2, 3, \dots, n, \quad (5.1)$$

где n — число префектур; m — число отраслей; a_{ij} — доля i -й отрасли в обрабатывающей промышленности j -й префектуры; A_i — доля i -й отрасли в обрабатывающей промышленности Японии. При определенной условности этого показателя он все же дает четкое представление о пространственных особенностях отраслевого состава обрабатывающей промышленности Японии.

Для того чтобы учесть влияние среднего размера предприятий в последующей многомерной классификации, был использован коэффициент локализации (K_L). Он рассчитывается аналогично K_C , однако здесь в качестве значений признака берется структура промышленности не по продукции, а по числу предприятий. При параллельном рассмотрении K_C и K_L оба эти показателя как бы корректируют друг друга с точки зрения более полной характеристики отраслевых структур обрабатывающей промышленности Японии. Если K_C измеряет отклонение структуры отраслевого состава префектур от средней по стране, то аналогично диверсификация в данном случае определяется относительно средненационального уровня.

Более полно оценить степень диверсификации можно по значению показателя сложности структуры (C):

$$C_j = -\frac{1}{N_j} \sum_{i=1}^m a_{ij} \log_2 \frac{a_{ij}}{N_j}, \quad j = 1, 2, 3, \dots, n, \quad (5.2)$$

где N_j — число предприятий всех отраслей в j -й префектуре; a_{ij} — число предприятий i -й отрасли в j -й префектуре. Этот показатель позволяет судить о диверсифицированности отраслевой структуры каждой из префектур вне зависимости от структуры обрабатывающей промышленности Японии в целом.

Чтобы отразить в классификации хронологический аспект, был использован ряд показателей динамики — изменение за 1962–1975 гг. характеристик $I_{и}$, $I_{к}$, C . Из табл. 4 видно, что в префектурах с максимальными значениями $I_{и}$ и $I_{к}$ за исследуемый период произошло относительное уменьшение индустриальной насыщенности (прежде всего в Токио, Осака, Хёго, Фукуока) при ее значительном росте в отсталых в промышленном отношении префектурах (Аомори, Фукусима, Сага и др.). Иными словами, произошло определенное выравнивание в размещении обрабатывающей промышленности Японии как относительно площади, так и размещения населения.

Таблица 4

Показатели, использованные для классификации префектур Японии по уровню развития отраслей обрабатывающей промышленности

Префектуры	Индекс индустриализации (1975 г.)	Индекс концентрации (1975 г.)	Коэффициент специализации (1975 г.), %	Частная географированная дисперсия по индексу концентрации (1975 г.)	Душевое производство обрабатывающей промышленности (отгружки) в млн. йен на 1 чел. (1975 г.)	Доля занятых в обрабатывающей промышленности от всех занятых (1975 г.), %	Сложность структуры обрабатывающей промышленности (1974 г.)	Изменение сложности структуры обрабатывающей промышленности за 1962—1974 гг., %	Изменение индекса индустриализации за 1962—1975 гг., %	Изменение индекса концентрации за 1962—1975 гг., %	Доля в отгрузках обрабатывающей промышленности (1975 г.), %	Коэффициент локализации (1975 г.)
1. Хоккайдо	0.53	0.22	41.0	10.81	0.60	14.8	3.26	6.2	10.4	0.0	2.51	35.5
2. Аомори	0.30	0.15	47.6	10.86	0.34	13.8	3.24	18.2	76.5	50.0	0.39	39.4
3. Ивате	0.40	0.12	40.3	10.97	0.46	20.5	3.48	20.4	33.3	9.1	0.49	34.9
4. Мияги	0.54	0.23	33.2	11.08	0.62	20.0	3.55	13.8	92.9	-14.8	0.94	28.7
5. Акита	0.38	0.13	39.7	10.93	0.44	18.5	3.46	27.2	22.6	-7.1	0.42	34.5
6. Ямагата	0.49	0.21	50.2	11.06	0.55	26.2	3.69	12.5	63.3	23.5	0.53	20.1
7. Фукусима	0.60	0.28	29.3	11.34	0.68	28.0	3.85	21.8	76.5	40.0	1.05	21.1
8. Ибараки	1.22	1.55	23.5	11.80	1.39	33.5	3.89	10.2	93.7	86.7	2.55	20.1
9. Тоттиги	1.20	1.05	25.0	11.84	1.37	36.2	3.94	11.9	81.8	72.1	1.83	15.6
10. Гумма	0.97	0.89	21.4	11.69	1.11	34.9	3.83	9.1	40.6	30.9	1.53	16.8
11. Сайтама	0.94	3.95	18.2	12.57	1.08	38.3	4.03	2.3	-9.6	50.8	4.07	22.0
12. Тоба	1.18	3.19	34.8	12.92	1.34	26.5	2.92	18.4	90.3	184.8	4.37	17.6
13. Токио	0.86	16.38	30.0	14.39	0.98	24.2	3.82	-3.5	-42.3	-41.5	9.01	29.7
14. Канагава	1.65	14.77	26.0	13.94	1.88	34.2	3.70	-5.4	-42.1	-10.0	9.45	26.5
15. Ниягата	0.77	0.49	20.9	11.31	0.88	29.1	3.68	4.0	40.0	16.7	1.65	23.7
16. Тояма	1.21	1.01	29.4	11.16	1.38	32.5	3.84	4.3	27.4	9.8	1.16	17.5
17. Исихава	0.73	0.62	47.0	11.12	0.84	29.1	3.32	21.6	-2.7	-10.1	0.70	31.1
18. Фукуи	0.80	0.49	42.7	11.50	0.91	33.3	3.14	24.6	35.6	16.7	0.55	37.2
19. Яманаси	0.59	0.34	35.3	13.24	0.67	30.1	3.66	16.6	78.8	47.8	0.41	41.3
20. Нагано	0.81	0.40	33.6	11.95	0.92	34.0	3.65	1.4	50.0	29.0	1.46	19.7
21. Гифу	0.93	0.54	33.1	11.48	1.06	37.6	3.69	15.0	12.0	5.9	1.56	25.2
22. Сидзуока	1.39	1.96	22.8	12.43	1.59	36.4	3.88	10.2	7.8	8.3	4.11	17.2
23. Айти	1.72	6.63	22.7	12.32	1.96	37.7	3.84	14.3	-11.8	3.3	9.08	16.9
24. Мизэ	1.42	1.32	25.9	11.56	1.61	35.3	3.83	8.5	18.3	8.2	2.02	22.5
25. Сига	1.44	1.17	28.6	11.40	1.64	40.0	3.80	10.1	84.6	82.8	1.27	17.5
26. Киото	0.87	1.50	26.7	12.45	0.99	31.3	3.55	15.6	-13.9	-13.3	1.88	47.8
27. Осака	1.30	19.24	18.5	14.55	1.48	30.8	3.87	-0.5	-42.5	-27.7	9.62	20.7
28. Хёго	1.31	2.59	20.0	12.44	1.50	32.9	3.96	2.6	-22.5	-17.3	5.86	13.0
29. Нара	0.66	0.63	34.1	12.74	0.74	30.0	3.80	14.8	46.7	65.8	0.63	30.6
30. Вакаяма	1.50	1.13	53.7	12.71	1.71	26.8	3.65	9.0	33.9	20.2	1.44	26.7
31. Тоттори	0.52	0.29	45.7	11.63	0.58	24.3	3.55	14.9	92.6	61.1	0.27	31.4
32. Симане	0.38	0.15	36.5	11.19	0.44	23.0	3.60	17.3	40.7	0.0	2.26	33.6
33. Окаяма	1.59	1.35	32.0	11.43	1.81	33.5	3.78	7.1	84.9	66.7	2.57	23.1
34. Хиросима	1.33	1.38	32.9	11.97	1.52	31.8	3.86	6.0	17.7	19.0	3.15	18.2
35. Ямагути	1.47	1.25	40.7	10.74	1.68	25.7	3.79	19.9	24.6	0.8	2.05	34.3
36. Токусима	0.63	0.40	39.9	10.88	0.72	27.2	3.63	13.4	65.8	29.0	4.05	37.4
37. Кагава	0.99	1.70	24.1	10.97	1.13	28.7	3.84	5.8	83.3	60.4	0.85	22.9
38. Эхиме	1.02	0.87	32.2	10.75	1.16	27.6	3.65	8.3	27.5	3.6	1.33	25.0
39. Коти	0.39	0.15	33.0	10.78	0.44	17.3	3.56	13.7	56.0	25.0	0.28	29.3
40. Фукуока	0.73	2.09	26.9	10.88	0.83	21.9	3.85	6.4	-12.0	-21.4	2.78	24.5
41. Сага	0.53	0.62	41.6	10.62	0.61	25.2	3.48	14.1	130.4	77.1	4.00	36.0
42. Нагасаки	0.45	0.55	45.2	10.52	0.49	20.1	3.53	17.3	73.1	25.0	0.61	46.0
43. Кумамото	0.35	0.27	30.3	10.71	0.39	18.1	3.61	22.8	52.2	17.4	0.53	35.2
44. Ойта	0.70	0.43	34.4	10.65	0.79	17.6	3.82	25.0	105.9	65.4	0.74	39.0
45. Миядзаси	0.39	0.18	45.2	10.57	0.45	17.2	3.50	35.7	39.3	12.5	0.38	40.4
46. Кагосима	0.31	0.19	55.0	10.58	0.36	17.8	3.23	16.2	121.4	58.3	0.48	34.6

Включена в систему показателей частная географизированная дисперсия (D_i^Γ) по индексу концентрации, предложенная Л.И. Василевским (Василевский, Полян, 1977):

$$D_i^\Gamma = \frac{\bar{r}_{ij}^2}{n-1} \sum_{j=1}^{n-1} \left(\frac{a_i - a_j}{r_{ij}} \right), \quad i = 1, 2, 3, \dots, n, \quad (5.3)$$

где a_i и a_j — значения показателей соответственно для i -й и j -й территориальных единиц, а r_{ij} — расстояние между ними; \bar{r}_{ij} — среднее расстояние от i -й территориальной единицы до всех остальных:

$$\left(\bar{r}_{ij} = \frac{\sum_{j=1}^{n-1} r_{ij}}{n-1} \right).$$

Вычисление частной географизированной дисперсии дает возможность не только выявить “холмы” и “впадины” в индустриальной насыщенности, но и количественно оценить контрастность префектур.

Из оставшихся не охарактеризованными трех показателей (в табл. 4 показатели 5, 6 и 11), пожалуй, лишь один — доля префектур в отгрузках продукции обрабатывающей промышленности (1975) — требует некоторых пояснений. Его использование вызвано стремлением учесть в последующей классификации роль каждой из префектур в общем объеме промышленного производства. Здесь мы умышленно абстрагировались от влияния площади территориальных единиц на значение показателя. Это сделано для того, чтобы несколько “абсолютизировать” его. При моделировании следует также учитывать тот факт, что некоторые префектуры могут играть весьма важную роль в системе обрабатывающей промышленности страны, не обладая высокой концентрацией промышленного производства, но имея обширные территории, например Хоккайдо. А именно это и позволяет сделать данный показатель.

Для получения количественных синтетических оценок уровней развития обрабатывающей промышленности в префектурах использовались три пути. Однако все они требовали предварительной стандартизации системы исходных показателей, для чего применялась разработанная автором нормировка (см. формулу (2.30)), где в качестве величин \bar{x}_j использовались наихудшие значения показателей уровня развития (для показателей 3, 8, 9, 10 и 12 эти величины соответствовали максимальным значениям, а для остальных —

минимальным). Первый путь моделирования основывался на возможности вычисления единых синтетических характеристик S_i (см. формулу (2.32)).

В качестве второго пути получения синтетических характеристик уровней развития промышленности в префектурах использовался метод главных компонент. Учитывая значительность охвата дисперсии 12 исходных показателей уже первой компонентой, можно вычислить оценки ее значений на основе матрицы исходных нормированных показателей по каждой префектуре и использовать их как интегральные приближенные характеристики соотношения уровней развития. Такой прием анализа и картографирования первых компонент (когда они выбирают большой процент дисперсии системы показателей) с целью изучения всего географического явления часто используется на практике (Сербенюк, Жуков, 1973; Жуковская, Мучник, 1976, Типология..., 1976; и др.).

Третий подход базируется на расчете показателей, близких по смыслу к евклидовым расстояниям. Для их вычисления предварительно нормированные показатели обрабатывались по алгоритму компонентного анализа для ортогонализации и свертки данных. Это позволило систему из 12 показателей взвесить по 4 первым компонентам, охватывающим более 85% общей дисперсии, и использовать ее для расчета условных расстояний по формуле

$$d_{ik} = \sum_{j=1}^m (\hat{x}_{ij} - \hat{x}_{kj}), \quad \begin{matrix} i = 1, 2, 3, \dots, n, \\ k = 1, 2, 3, \dots, n. \end{matrix} \quad (5.4)$$

Данные расстояния позволяют количественно оценить близость всех территориальных единиц друг к другу по всему преобразованному комплексу показателей. Это свойство расстояний использовано нами для получения синтетических характеристик уровней развития обрабатывающей промышленности по префектурам. Так, если для каждой территориальной единицы найти суммы

$$S_i = \sum_{k=1}^n d_{ik}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n, \quad (5.5)$$

то чем данная величина будет больше, тем выше уровень развития данной префектуры. Причем заметим, что величина S_i может быть как положительной, так и отрицательной.

Все три пути моделирования позволяют картографировать их результаты, для чего целесообразно использовать бесступенчатые шкалы, передающие конкретные значения синтетических характеристик

размером отстояния штриховок друг от друга. Для того, чтобы шкала штриховок для всех трех карт была бы одной и той же, независимо от получения абсолютных величин S_i , их необходимо стандартизировать по формуле

$$\hat{S}_i = \frac{S_{\max} - S_i}{S_{\max} - S_{\min}}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n. \quad (5.6)$$

Величина \hat{S}_i во всех трех вариантах будет варьировать в пределах от нуля до единицы и делает их сравнимыми между собой. Ноль соответствует наивысшему уровню развития, а единица — наихудшему. Используя величины S_i как характеристики отстояния штриховок на картах, получаем для трех вариантов моделирования соответствующие изображения (рис. 59, A, B, C).

Все три использованных метода лишь в приближенной форме выражают количественное соотношение в уровнях развития обрабатывающей промышленности, и между отдельными вариантами имеются хотя бы и небольшие, но различия. Поэтому на основе всех трех карт целесообразно создать одну результирующую карту. Такая возможность возникает благодаря тому, что для всех вариантов использована одна шкала отстояния штриховок. Так, если по каждой префектуре, на основе трех значений отстояния штриховок, вычислить их среднеарифметические значения, то полученная карта будет аккумулировать в себе результаты реализации всех использованных моделей, условившись считать все три способа моделирования равноценными (рис. 59, D). Созданием данной карты завершается конструирование сетевой модели.

Однако возможности предложенной методики позволяют также оценить близость каждого варианта к осредненному и даже картографировать эти отличия, что и сделано на картах (рис. 59, E, ..., G). На данных картах отражены величины отклонений \hat{S}_i каждого из вариантов моделирования от их среднеарифметических значений по каждой префектуре, выраженные в процентах (величина, равная единице, принята за 100%). Заметим, что результаты всех трех путей моделирования оказались очень близкими. Так, результаты первого из них ни по одной префектуре не уклоняются от среднеарифметических значений более чем на 5%, и лишь в третьем варианте одна префектура имеет значение, отличающееся от среднего на 17%.

Проанализировав полученную результирующую карту (рис. 59, D), можно выделить группы слабо-, средне- и сильноразвитых префек-

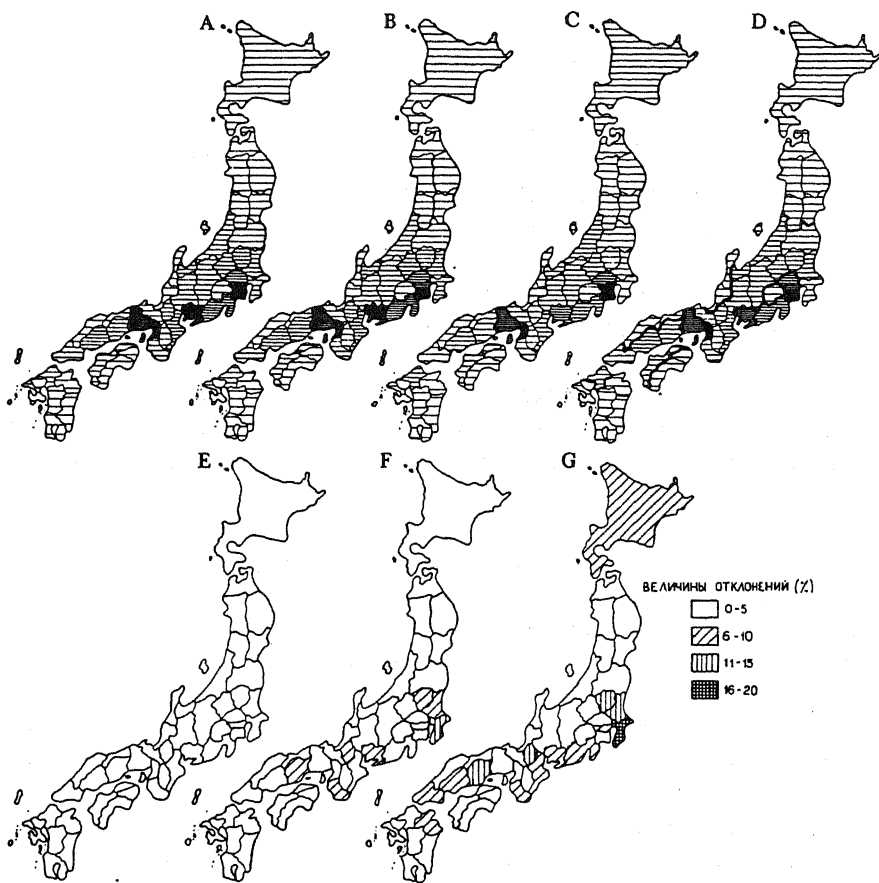


Рис. 59. Карты уровней развития отраслей обрабатывающей промышленности по префектурам Японии: А — результаты первого, В — второго, С — третьего пути моделирования; D — их совмещенный, окончательный вариант оценки уровней развития. Сплошная заливка соответствует нулевому отстоянию штриховок друг от друга (наивысший уровень развития). Утолщенными линиями на карте D выделены группы слабо-, средне- и сильноразвитых префектур, легко идентифицируемых по степени отстояния штриховок. Карты E, F, G отображают величины отклонений характеристик уровней развития промышленности соответствующих вариантов моделирования от совмещенного варианта (величина, равная единице, соответствует 100%)

тур, которые полностью совпадают с результатами многомерной классификации, описанной в параграфе VII.2. К группе слаборазвитых префектур отнесены те из них, значения S_i у которых были больше или равны 0,70, среднеразвитых — от 0,70 до 0,30 и сильноразвитых — 0,30 и менее. Более подробный анализ системы исходных показателей и содержательно-географическая характеристика результатов классификации даны в книге (Тикунов, 1985б).

V.3. КОНСТРУИРОВАНИЕ ДРЕВОВИДНЫХ МОДЕЛЕЙ

Конструирование сложных древовидных моделей позволяет отображать явления в многообразии их сторон, в чем проявляется одно из свойств этих моделей. Осуществляется это через возможность многоплановости раскрытия сюжета на картах. Получение серий карт сходной тематики на конечных стадиях моделирования особенно важно, так как именно эти карты, в отличие от рабочих, промежуточных карт, позволяют оценить точность всего процесса моделирования и представляют его результаты. Общий вид типичной сложной древовидной модели приведен на рис. 2, с. Для ее конструирования в качестве одного из элементов нами использовался алгоритм, который базируется на Q -схеме корреляционного анализа (см. гл. III.2).

Конструирование сложной древовидной модели производилось нами на примере создания корреляционных карт урожайности картофеля. Исходными данными для них служили временные ряды урожайности по 52 областям европейской части России за 1947–1975 гг., а также аналогичные данные для СССР, РСФСР, экономических районов и таксонов двух типологий динамических рядов урожайности. Эти сведения вполне пригодны для последующей реализации Q -схемы корреляционного анализа, удовлетворяя требованиям, описанным в гл. III.2.

Исходные данные о динамических рядах урожайности картофеля, представленные в виде матрицы, имели два пропуска, восстановленных по алгоритму Р.А. Фишера (1957), ранее опробованному в ряде исследований (Сербенюк, 1970; Жуков, Сербенюк, Тикунов, 1980; и др.). Согласно данному алгоритму если в матрице имеется один пропуск, то его вероятнейшее значение вычисляют по формуле

$$x_{ij} = \frac{n \sum x_i + t \sum x_j - \sum x}{(n-1)(t-1)}, \quad (5.7)$$

где n — число территориальных единиц; t — число лет во временных рядах урожайности; i — порядковый номер территориальной единицы, имеющей пропуск в статистике; j — порядковый номер года, на который приходится данный пропуск; $\sum x_i$ — сумма величин урожайности за t лет для i -й территориальной единицы; $\sum x_j$ — сумма величин урожайности для j -го года по всем n территориальным единицам; $\sum x$ — сумма всех элементов матрицы урожайности.

Если в матрице имеется несколько пропусков, то первоначальным приближением может служить формула для восстановления данных

$$x'_{ij} = \frac{\sum x}{nt - r}, \quad (5.8)$$

где r — количество пропущенных элементов в динамических рядах.

Далее вычисляя новые значения $\sum x_i$, $\sum x_j$ и $\sum x$, можно более точно восстановить данные

$$x''_{ij} = \frac{n \sum x_i + t \sum x_j - \sum x - x'_{ij}(n + t - 1)}{(n - 1)(t - 1)}. \quad (5.9)$$

Аналогично определяется третье приближение

$$x'''_{ij} = \frac{n \sum x_i + t \sum x_j - \sum x - x''_{ij}(n + t - 1)}{(n - 1)(t - 1)} \quad (5.10)$$

и т.д., с каждой итерацией все уточняя восстанавливаемые данные. Числовые примеры восстановления пропущенных данных, опубликованные в вышеупомянутых работах, свидетельствуют о достаточно высокой надежности алгоритма.

Алгоритм восстановления данных, определяющий первый этап сложной модели, позволил получить статистические сведения, пригодные для последующей реализации Q -схемы корреляционного анализа. Однако для проверки полученных данных их целесообразно закартографировать и проанализировать, не противоречат ли восстановленные данные территориальным закономерностям, что может позволить выявить возможные грубые ошибки и исправить их на данном этапе моделирования. Одновременно оказывается полезным составлять аналитические карты урожайности не только за отдельные годы, но и по среднеголетним данным (рис. 60).

После этого можно перейти к расчету корреляций. Прежде всего были прокоррелированы между собой ряды урожайности за 29 лет, соответствующие бывшему СССР в целом и 52 областям, включенным в анализ, что позволило через величину коэффициентов выразить степень статистического сходства динамики урожайности картофеля каждой из областей по отношению к средним по стране данным. Картографирование вычисленных коэффициентов корреляции дает возможность проследить их пространственное варьирование.

Однако известно, что расчет коэффициентов корреляции по динамическим рядам затруднен, так как они имеют тренд, который

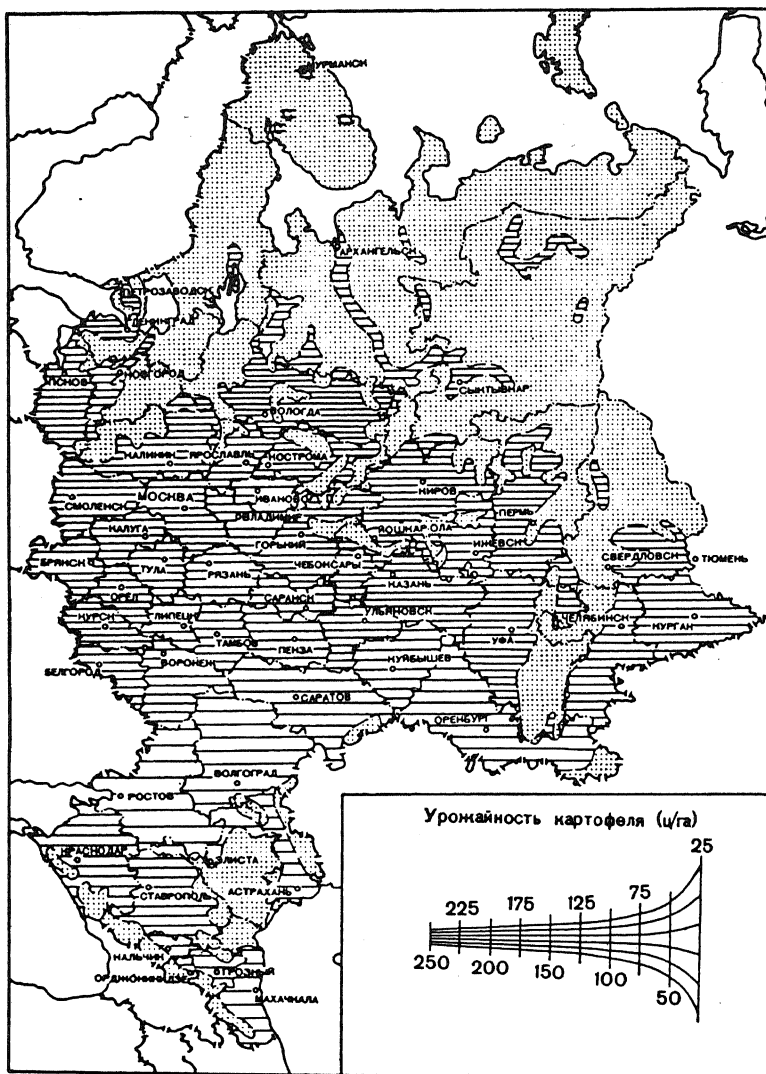


Рис. 60. Среднегодовая урожайность картофеля по европейской части России (1947–1975)

искажает значения коэффициентов. Как отмечает Н.К. Дружинин, “тренд, выражая общее направление изменения явления во времени, вместе с тем определяет и зависимость между членами динамического ряда, которая может, вплетаясь в корреляцию кратковременных колебаний, вносить в нее систематический, искажающий элемент” (1971, с. 144). Для уменьшения влияния тренда используется ряд способов (Дружинин, 1971; Жуковская, Мучник, 1976;

Вайну, 1977). Нами тренд элиминировался вычитанием последующих значений из предыдущих в динамических рядах, а также вычитанием значений линии регрессии из фактических величин урожайности.

Если использовать первый прием элиминации тренда, то карта корреляций динамических рядов урожайности картофеля СССР и областей европейской части России (рис. 61) сильно отличается от первоначально созданной. На этой карте зона высоких значений коэффициентов корреляции в центральной части значительно расширяется, что более правильно, так как именно эти области являются одними из основных производителей картофеля в республике. Карта корреляций рядов урожайности областей и Российской Федерации в целом (рис. 62) не очень сильно отличается от карты, изображенной на рис. 61, что свидетельствует об определяющем значении России в валовом сборе картофеля в бывшем СССР. Но на этой карте появляется район, отражающий почти функциональную зависимость динамических рядов Горьковской области, Татарской, Марийской, Чувашской АССР и РСФСР. Наиболее низкие коэффициенты корреляции приходятся на районы Ростовской области, Калмыкии и Северного Кавказа, где картофель имеет второстепенное значение.

Можно рассчитать коэффициенты корреляции между рядами урожайности всех областей и экономических районов. Так как европейская часть России делится на семь экономических районов, то по их числу можно составить и соответствующее количество корреляционных карт, одна из которых для Северо-Западного района приведена на рис. 63. Интересно, что высокие значения коэффициентов корреляции наблюдаются не только в пределах областей данного района, но и охватывают соседние области других районов, вплоть до Татарии. Если показать коэффициенты корреляции для областей только в пределах их экономических районов, то все семь карт как бы совмещаются на одной (рис. 64).

В книге (Тикунов, 1985б, с. 204–212) приведены и охарактеризованы две карты типов динамики урожайности картофеля, созданные на основе того же, что и в данном эксперименте статистического материала. Первый вариант типологии вычислялся при условии определения таксонов с однородными ритмами колебаний урожайности на основе евклидовых расстояний (рис. 65). Легендой для данной карты могут служить среднеарифметические значения урожайности за каждый год, рассчитанные в пределах каждого из таксонов и представленные в виде графиков (рис. 66). Номера таксонов на рис. 65 и графиков на рис. 66 идентичны. Такие графики средней

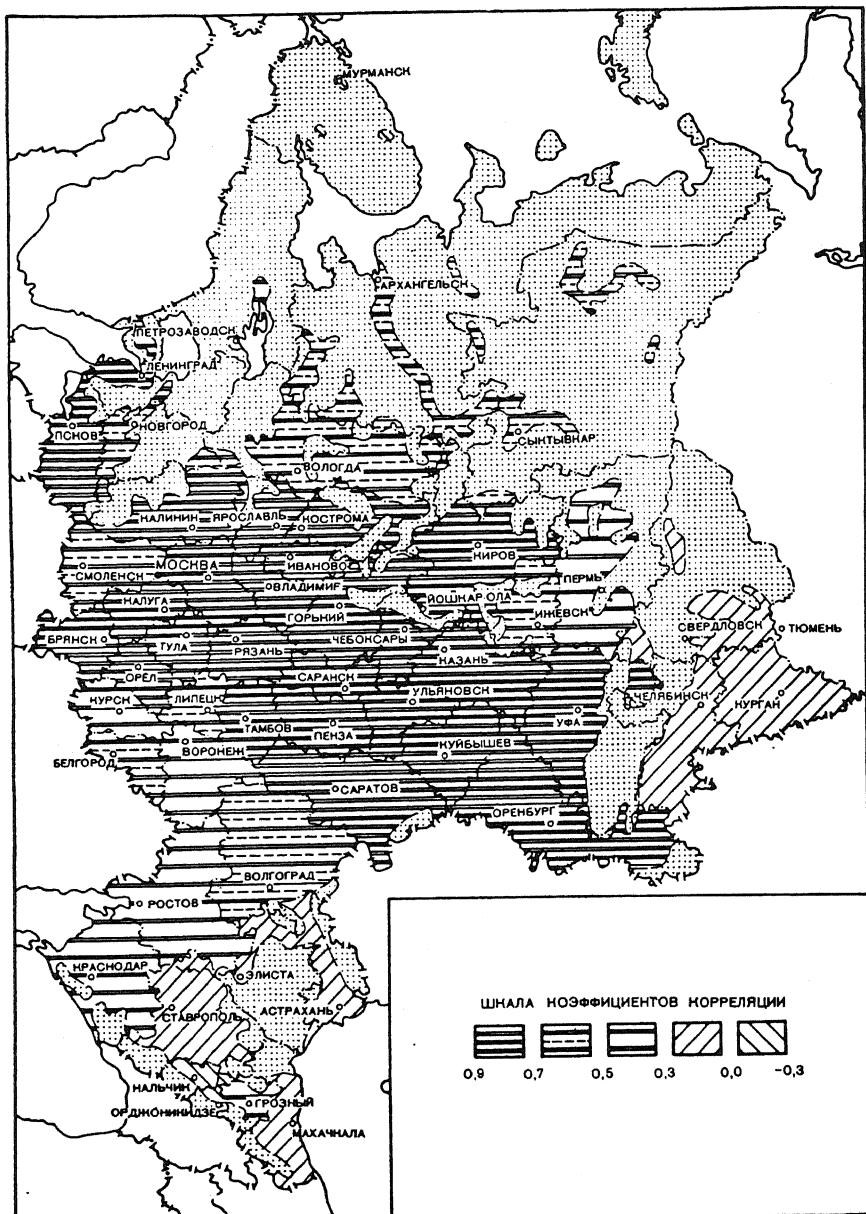


Рис. 61. Корреляции между динамическими рядами урожайности картофеля СССР и областей европейской части России

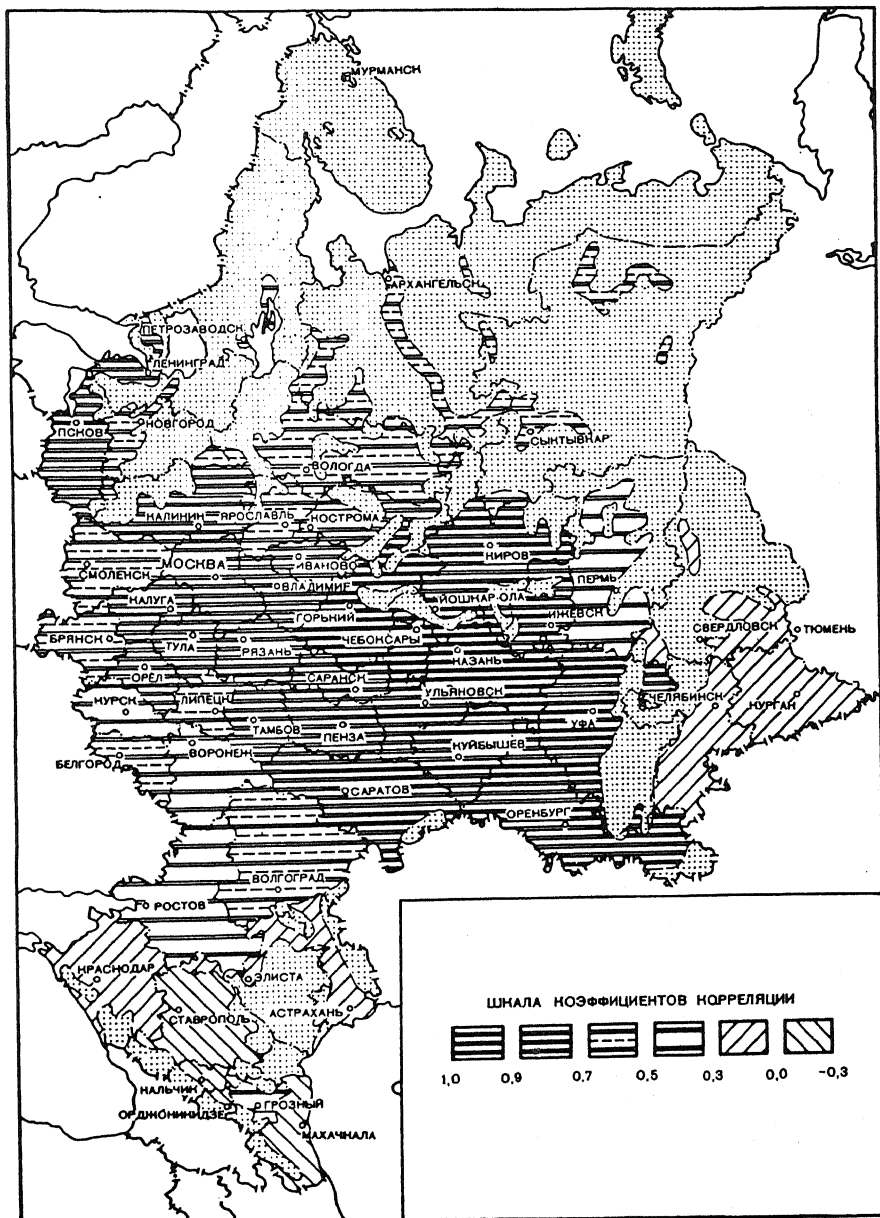


Рис. 62. Корреляции между динамическими рядами урожайности картофеля России и областей европейской части России

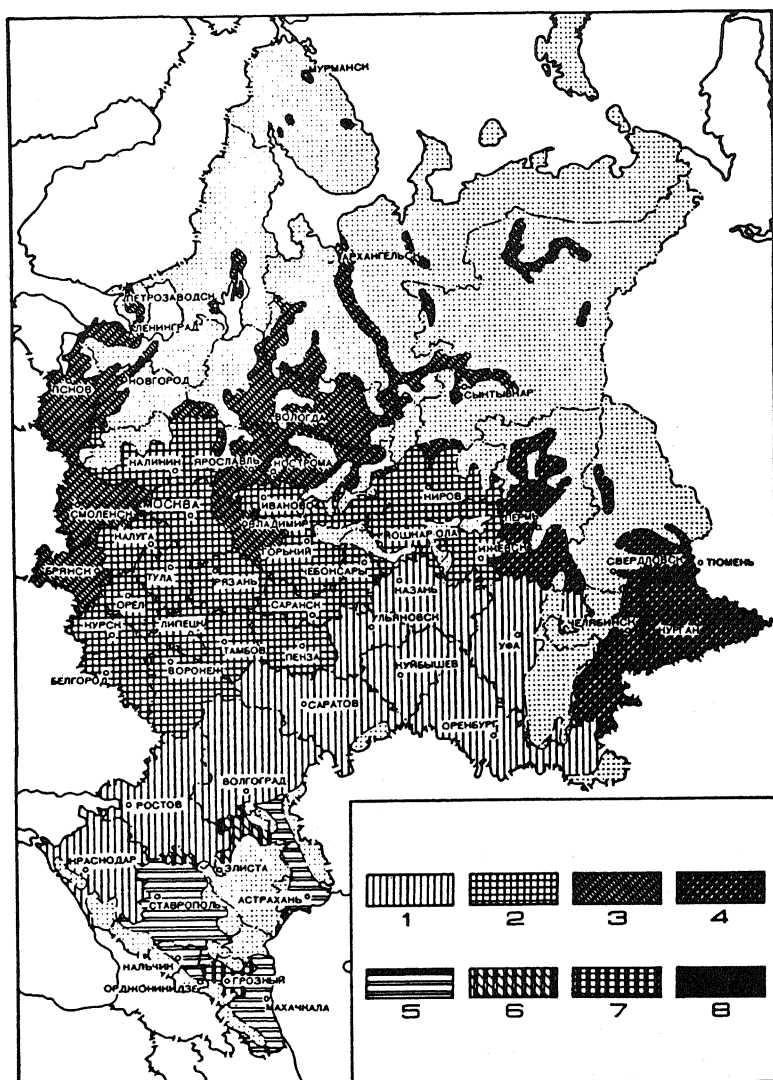


Рис. 65. Первый вариант типологии областей европейской части России на основе динамических рядов урожайности картофеля

урожайности нивелируют частные флуктуации в динамических рядах и характеризуют закономерности изменчивости урожайности для целых однотипных групп областей.

В процессе такой классификации также возникает вопрос: а не вносит ли тренд искажений в саму типологию? Для этого попытаемся исключить его влияние вычитанием значений линии регрессии из фактических величин урожайности. В качестве показателя бли-

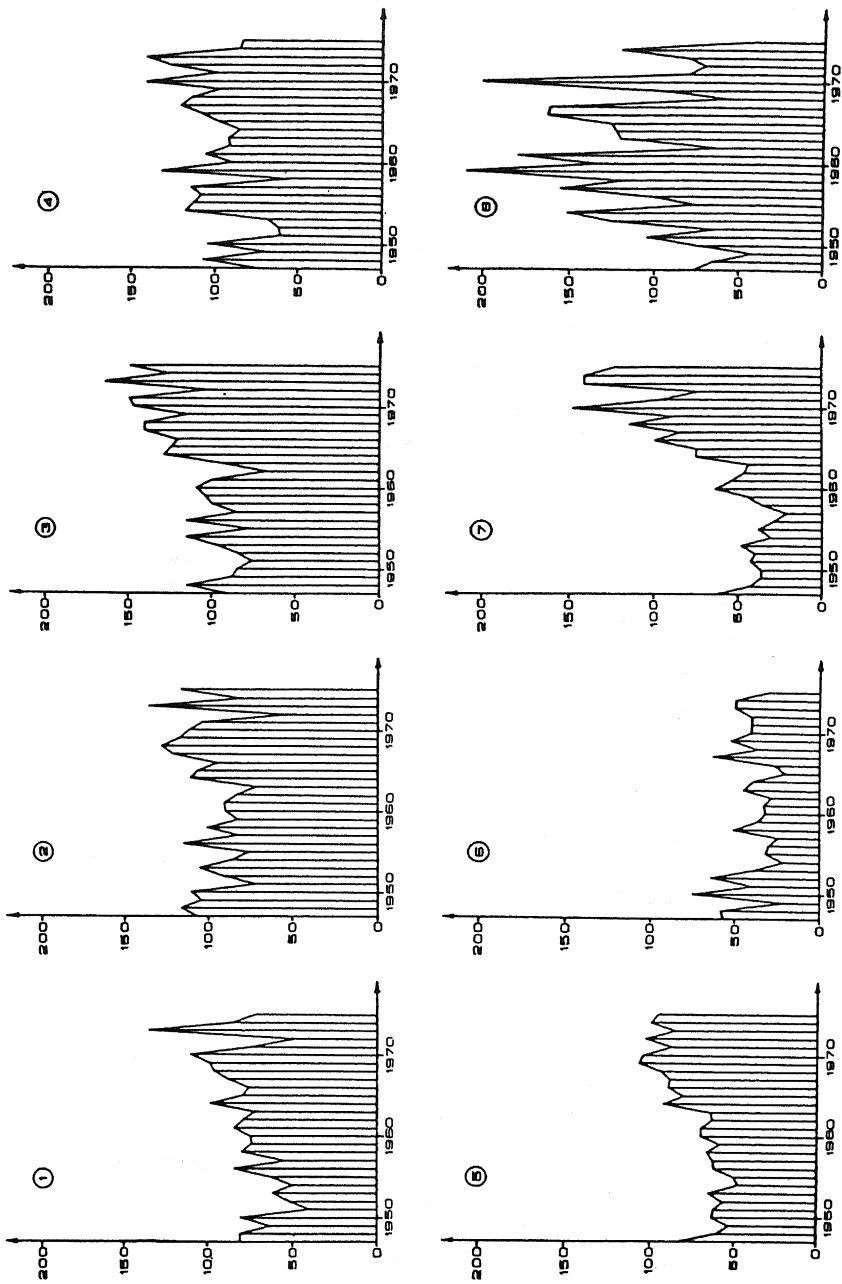


Рис. 66. Графики средних значений урожайности картофеля по таксонам, изображенным на рис. 65

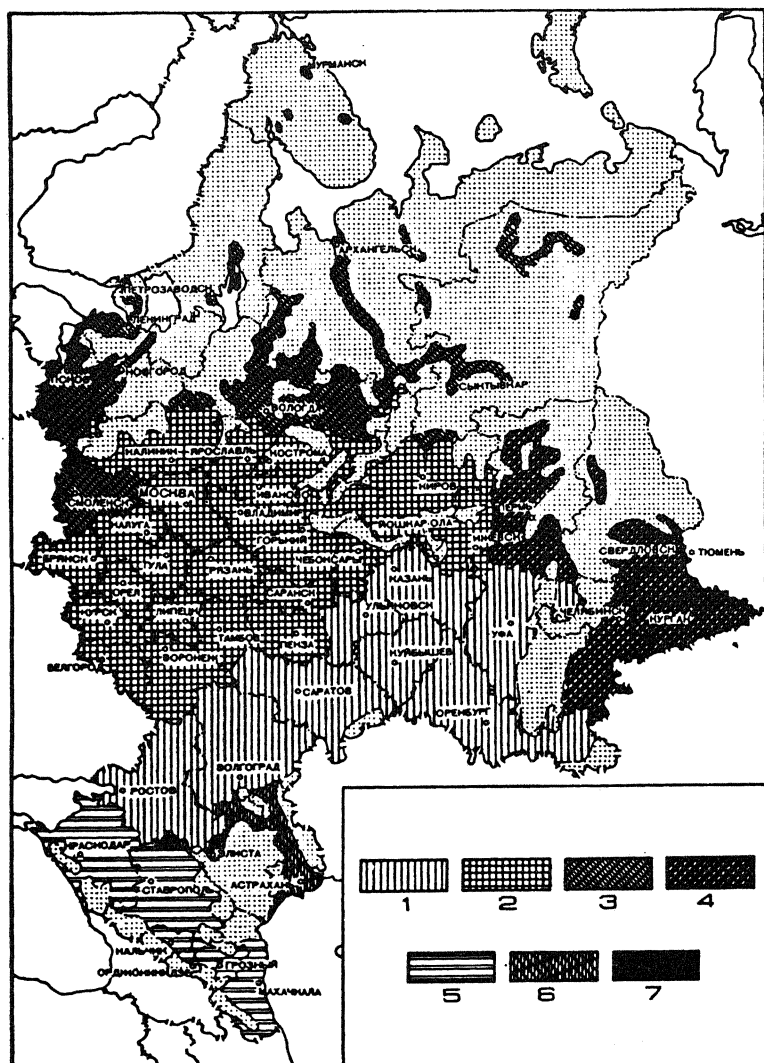


Рис. 67. Второй вариант типологии областей европейской части России на основе динамических рядов урожайности картофеля

зости динамических рядов друг к другу вместо евклидовых расстояний в данном эксперименте использовались величины, обратные значениям коэффициентов корреляции, при расчете которых исключался тренд, что привело к более достоверным с географической точки зрения конечным результатам. Использование величины, равной единице, минус коэффициент корреляции требуется по условию алгоритма классификации, чтобы близкие по динамике ряды име-

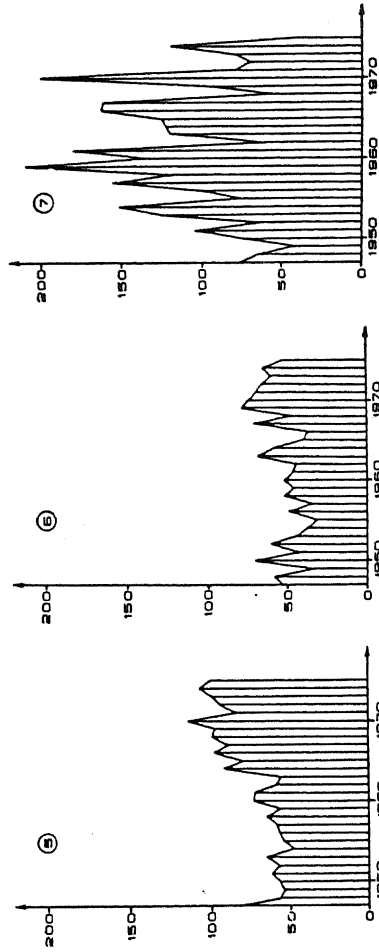
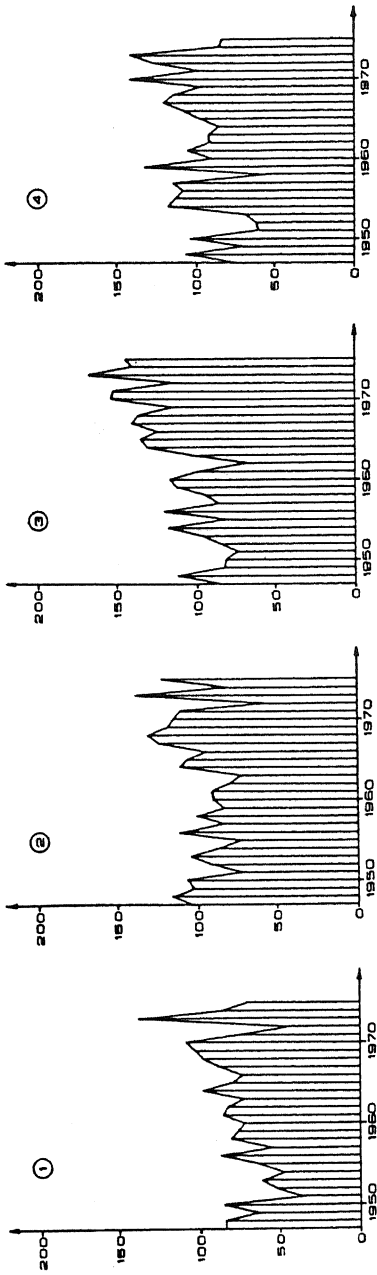


Рис. 68. Графики средних значений урожайности картофеля по таксонам, изображенным на рис. 67

ли малую величину в показателе их сходства между собой, аналогично евклидовым расстояниям.

Проведение многомерной типологии на основе коэффициентов корреляции уменьшает количество таксонов до семи, что вновь определялось по значениям коэффициентов неоднородности (см. формулы (2.20) и (2.21)). Полученный результат представлен на рис. 67. Аналогично рис. 66 легенда для данной карты представлена в виде графиков на рис. 68. Второй вариант типологии, на наш взгляд, более точен. Кроме того, таксоны оказываются территориально нерасчлененными, что отчасти подтверждает неразрывность и плавность смены природных условий. Таксоны второго варианта также лучше согласуются с физико-географическими районами, выделяемыми на территории европейской части России, что, несомненно, связано с благоприятностью природных условий, влияющей на урожайность картофеля и его динамику.

В целом однородные по динамике урожайности таксоны, в пределах заданных при типологии ограничений, естественно, включают в себя более и менее типичные для всей группы области, в чем проявляется плавность перехода динамики от одного типа к другому. Чтобы оценить эту типичность, можно подсчитать коэффициенты корреляции между средними значениями урожайности для таксонов в целом и рядами урожайности входящих в них областей. Картографирование коэффициентов корреляции позволяет представить их пространственное варьирование, а также проследить закономерности в образовании таксонов и формировании промежуточных, переходных между таксонами групп территориальных единиц. Карта корреляций между таксонами и входящими в них областями первой типологии представлена на рис. 69, а второй типологии — на рис. 70.

Исследование статистической схожести динамических рядов урожайности по отношению к различным осредненным характеристикам (вплоть до страны в целом) позволяет рассматривать исходные территориальные единицы как бы на различных уровнях. Последовательно переходя к характеристике областей относительно бывшего СССР, России, экономических районов и однородных таксонов, можно достаточно детально выявить специфические черты каждой из областей. Например, коэффициенты корреляции для Краснодарского и Ставропольского краев даже по отношению к их таксонам не превышают величины 0,5, что свидетельствует об уникальности их динамики урожайности. Еще более своеобразна динамика в Калмыкии и Мурманской области, где картофель выра-

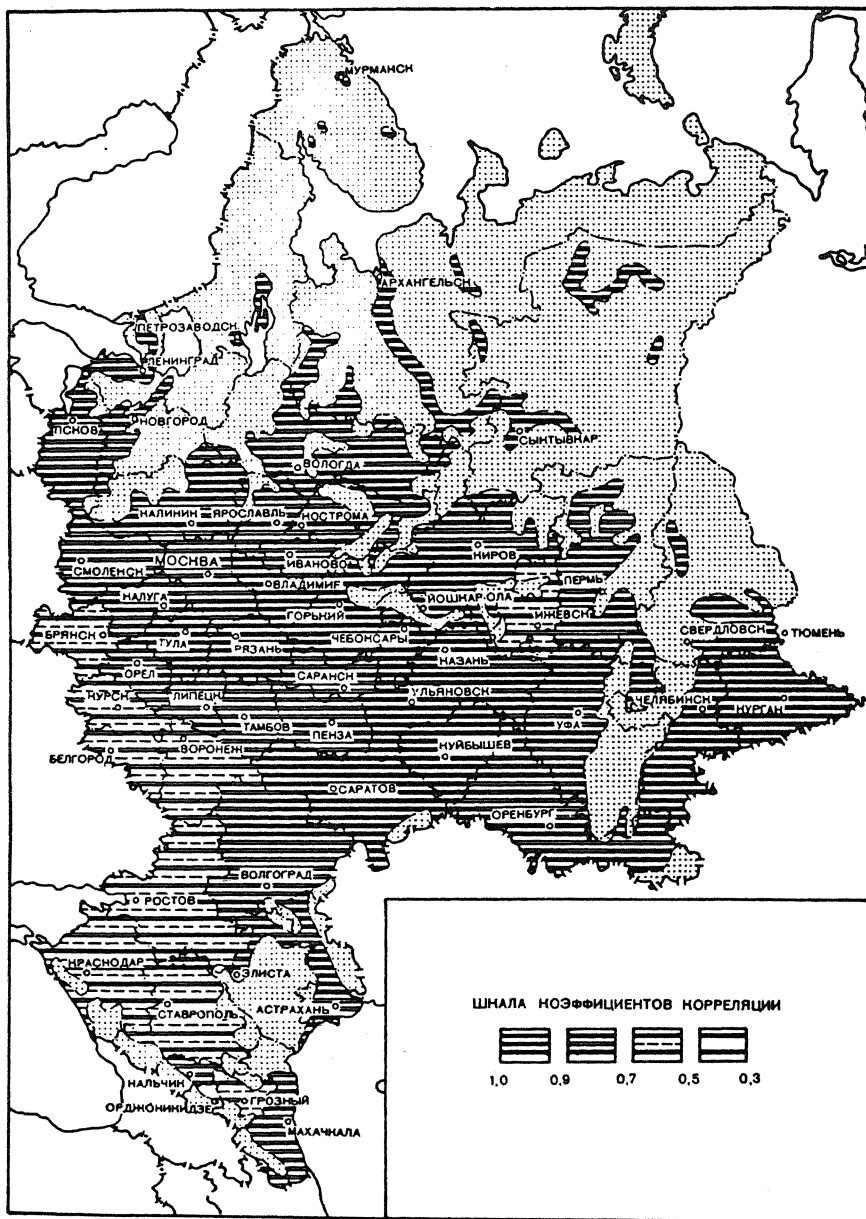


Рис. 70. Корреляции между динамическими рядами урожайности картофеля по таксонам второго варианта типологии и входящим в них областям европейской части России

щается в основном в пригородной зоне. Данная серия корреляционных карт в еще большем количестве (13 штук) представлена в книге (Тикунов, 1985б).

Построенная модель позволяет отобразить одно и то же явление как бы под разными углами зрения и избежать односторонности получаемых по карте выводов. Таким образом, проведенное исследование в классическом виде воспроизводит этапы конструирования типичной древовидной модели. Следует отметить, что все эксперименты, описанные в данной главе, по конструированию сложных моделей выполнены как оригинальные работы, ранее не имевшие аналогов.

Основные выводы из работ по конструированию сложных моделей сводятся к следующим положениям. Прежде всего выделенные нами типовые схемы сложных моделей ориентированы на различные пути изучения географических явлений: путь последовательного исследования элементов явления (цепочкообразные модели); путь сравнительного их изучения (сетевые модели) и путь многопланового отображения и изучения различных сторон явлений (древовидные модели). В картографическом плане это соответственно сводится к созданию набора последовательно взаимосвязанных в технологическом, но не в содержательном аспекте карт; различных вариантов одной и той же карты; серии карт одной содержательной тематики. При конструировании сложных моделей из элементарных звеньев, требующих различных исходных данных и приводящих к созданию различных типов карт, невозможно определить их типичное информационное математическое обеспечение и вид результирующих изображений.

Глава VI

СОЗДАНИЕ АНАМОРФИРОВАННЫХ КАРТОГРАФИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

VI.1. КРАТКИЙ ОБЗОР МЕТОДОВ СОЗДАНИЯ АНАМОРФИРОВАННЫХ КАРТОГРАФИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Развитие многих наук о Земле, связанных с пространственно-временным анализом, предполагает не только совершенствование способов отображения географических явлений, но и показ их отношений и связей с другими явлениями, особенно в тех случаях, когда их анализируют как системы. Возникает необходимость исследовать варьирующие в пространстве характеристики сразу нескольких явлений. Выполнить такой анализ проще, если хотя бы одну из меняющихся в пространстве характеристик полагать равномерно распределенной и на ее фоне анализировать все остальные с ней взаимосвязанные. Для этой цели прибегают к трансформации изображения явления, взятого за основу, из привычной нам евклидовой метрики в условное тематическое “пространство выровненного явления”. Под термином трансформация будем понимать переход от картографического изображения, в основу которого, как правило, положена топографическая метрика земной поверхности, к другому изображению, в основе которого метрика картографируемого явления. Географы проявляют все возрастающий интерес к подобным трансформированным изображениям, или, как их еще называют, анаморфозам. Иными словами, анаморфозы можно определить как графические изображения, производные от традиционных карт, масштаб которых трансформируется и варьирует в зависимости от величины характеристики явления на исходной карте.

В англоязычном мире для обозначения анаморфоз используются термины *transformed maps*, *pseudo cartograms*, *cartograms*, *topological cartograms* и др. Мы же остановимся на термине “анаморфоза”, а процесс их создания будем называть анаморфированием (от греч.

анаморфоб), что более точно отображает суть, связанную с изменением пропорций изображений. Кроме того, подчеркнем, что эти термины распространены в ряде стран, прежде всего Восточной Европы. В русском языке слово “анаморфоза” используется также достаточно давно. Так, еще известный русский языковед В.И. Даль (1880) определял анаморфозу как безобразную, но правильно искаженную картину, принимающую свой вид в граненом или гнутым зеркале, что, кстати сказать, совпадает с одной из методик их получения, используемой до настоящего времени. Однако в современном понимании для анаморфированных изображений вряд ли уместен термин “безобразные”. Трансформация осуществляется для теоретических и практических нужд и служит инструментом географического анализа. Анаморфированные изображения отличаются от картоидов. Картоиды — абстрактные графические изображения, при построении которых не учитываются конкретные пространственные отношения, например поляризованный ландшафт (Родоман, 1974), типичные формы рельефа по Райсу (Салищев, 1982б), медико-географические оценки (Райх, Максимова, 1988) и др.

Среди анаморфированных изображений можно выделить линейные и площадные. Возможно представить и объемные анаморфозы, например в виде трансформированных блок-диаграмм или рельефных карт. Линейные анаморфозы напоминают изображения графов, длина ребер которых позволяет изменять взаимную удаленность отображаемых единиц в зависимости от величин характеристик явлений, закладываемых в основу анаморфоз. Пример линейных анаморфоз — изображения линий Московского метрополитена в зависимости от времени их доступности (Салищев, 1982б), экспортно-импортных связей бывшего СССР со странами Европы (Вардомский, Тикунов, 1982) и др. Причем в этих примерах соблюдаются пространственные отношения, в противном случае изображение не может быть отнесено к анаморфозам (как, например, статистические графики объема экспортно-импортных связей, выраженные в виде столбиков различной высоты, и т.д.).

Первые линейные анаморфозы появились в середине нашего века и строились главным образом на основе масштаба времени. Физические расстояния от одной начальной точки до всех трансформируемых пунктов исходной карты заменялись условными расстояниями, измеряемыми в единицах времени, стоимости и др. (Салищев, 1973; Murdych, 1971; Muller, 1978; и др.). Иногда такие трансформации производились на основе системы изохрон, имеющих в данном случае вид концентрических окружностей. Известны примеры,

когда анаморфирование осуществлялось на базе окружностей, построенных соответственно логарифмическим, гиперболическим, параболическим и другими закономерностями (Трунин, Сербенюк, 1968; Hägerstrand, 1957; Kadmon, 1975). К настоящему времени разработан целый спектр методик трансформации масштаба длин (Тикунов, Юдин, 1986; Murdych, 1971; Muller, 1979).

Среди анаморфоз наибольшее распространение получили их площадные разновидности, которые позволяют выравнивать в пространстве какие-либо плотности (например, плотность населения, плотность территориального распределения доходов, плотность территориального распределения потребления некоторого продукта и т.д.). То есть в этом случае площади изображаемых территориальных единиц становятся пропорциональными соответствующим им величинам закладываемого в основу анаморфозы показателя. При этом от анаморфированных изображений требуется максимально возможное сохранение взаимного расположения территориальных единиц, их формы и др. Среди созданных анаморфоз наиболее часто встречаются эквидемические изображения, на которых величины площадей пропорциональны численности населения, на них проживающего. Реже встречаются анаморфозы, в основу которых заложены величины доходов населения, урожайность сельскохозяйственных культур, валовой национальный продукт и т.д.

История создания площадных анаморфоз насчитывает несколько десятилетий. Первая известная нам попытка трансформации картографического изображения относится к началу XX в. В Германии появилось оригинальное картографическое произведение, автором которого был немецкий картограф Г. Вихель. Он подготовил анаморфозу для иллюстрации результатов голосования по выборам в рейхстаг. На этом изображении суммы площадей, выделенных определенными цветами, соотносились как численность голосов, поданных за того или иного кандидата.

М. Эккерт сущность подобной трансформации изображения образно описал следующим образом: "... рельефный макет плотности населения, высота которого в каждой точке соответствует плотности населения, "прокатывается" до тех пор, пока не расплющится в гладкий лист одинаковой толщины, равной средней плотности населения. Участки макета с большей высотой, соответствующей большей плотности населения, раздвинутся горизонтально. Тем самым соседние участки, соответствующие менее густо населенным областям, во-первых, также сдвинутся и, во-вторых, под действием горизонтального сжатия будут доведены до высоты, соответствующей

средней плотности населения. В результате расплющивания и сдвигов получается картограмма с плотностью населения, одинаковой во всех ее частях". Далее Макс Эккерт подводит пессимистический итог: "... метод не нашел подражания. Восторг, вызванный появлением карт Вихеля, уже прошел" (цитируется по статье Л.И. Василевского, 1970). Однако последователей у Г. Вихеля оказалось немало. Читатель может найти множество имен, обратившись к списку литературы в конце книги.

Тем не менее большинство известных анаморфоз, начиная с "картограмм людности" Г. Вихеля и вплоть до 80-х годов, в основном строилось вручную с низкой точностью. Очевидно, что решений в таких случаях ровно столько, сколько составителей. Иногда производное изображение теряет топологическое подобие с оригиналом. Узлы (точки) пересечения границ превращаются в линии, из-за чего сопредельные территории теряют свойство соседства. Такой способ скорее статистический, он ближе к диаграмме, чем к картографическому изображению. Иногда территориальные единицы специально заменяются прямоугольниками и другими фигурами (Бочкарева, 1981; Суворов, 1984б; Сепен, 1972; Murdych, 1971; Pravda, 1983; и др.). Если в размещении таких геометрических фигур не учитывать конкретные пространственные отношения, то эти изображения переходят в разряд картоидов. В упомянутых работах геометрические фигуры располагаются с учетом их взаимного расположения по отношению друг к другу [квадратик Казахстана выше Таджикистана (Суворов, 1984б) и т.д.], и эти анаморфозы можно рассматривать как крайний случай наиболее генерализованного изображения.

Известен ряд анаморфоз, при построении которых конфигурация исходной территории остается неизменной и линия контура является как бы началом отсчета. Однако при таком подходе невозможно, сохраняя конфигурацию, построить анаморфозу двух смежных территорий, поскольку средняя величина явления, закладываемого в основу, для каждой из них будет различной. По той же причине нельзя построить анаморфозу с сохранением конфигурации и для расчлененных территорий, например для Индонезии, Филиппин или Японии.

С целью объективизации построения анаморфоз Л.И. Василевским (1970) была предложена простая методика. Ее суть заключалась в нанесении на исходную карту в равновеликой проекции семейств эквидемических линий, последующая трансформация которых в сеть квадратов позволяет преобразовать рисунок исходной карты

в анаморфированное изображение. Эквидемические линии строятся относительно условно выбранной начальной системы координат, которая задается ортогональными осями X и Y (или в полярных координатах для построения азимутальных проекций). Эквидемические линии проводятся вручную вдоль осей X и Y (или как замкнутые концентрические кривые вокруг центра) при условии, чтобы площади образуемых ими клеток были бы обратно пропорциональны величинам показателя, закладываемого в основу будущей анаморфозы в пределах данных клеток. Анаморфозам Л.И. Василевского, как и всяким формализованным построениям, свойственны строгость и однозначность, но лишь при однозначно определенной точке начала отсчета по осям X и Y . Для простой геометрической фигуры такую точку можно оговорить и найти (например, центр распределения явления или центр фигуры), однако для сколько-нибудь сложного картографического изображения центрография представляет собой самостоятельную непростую задачу. При смене начала отсчета меняется все результирующее изображение.

При поиске приемлемой технологии создания анаморфоз используются некоторые методы механической аналогии. Так, интересен опыт канадских ученых, которые в 1971 г. издали “изодемографическую карту Канады” (Skoda, Robertson, 1972). Они имитировали величины картографируемого признака по территориальным единицам соответствующим количеством одинаковых металлических шариков (было использовано 265 тыс. шариков), а роль границ территориальных единиц выполняли раздвижные перегородки. К данному методу близка технология с использованием деревянных блоков для создания анаморфированных изображений (Hunter, Young, 1968). Авторы использовали 9214 блоков для имитации 62 графств Англии и Уэльса. Слабость обоих методов в том, что решению сопутствует субъективизм составителей, ибо решение достигается подгонкой элементов границ.

В этом плане более совершенен метод, основанный на применении электрического моделирования (Расположенский, Свентэк, Тикунов, 1972; Raspolozhenskiy, Sventek, Tikunov, 1974). От прямоугольных координат карты к координатам анаморфозы можно перейти с помощью гидравлической, тепловой или электрической аналогии. Однако для воспроизведения в лабораторных условиях наиболее простым и удобным оказывается электрическое поле. Подготовительные работы в этом случае сводятся к созданию электрической модели интересующего явления. Неоднородность участков модели выполняется, в нашем случае, выклеиванием из различных

сортов токопроводящей бумаги или же ее перфорацией, а также комбинацией этих способов. Далее производится выравнивание градиента электрического поля на однородных периферийных (фоновых) участках модели. Затем модель коммутируется с источниками питания таким образом, чтобы можно было считывать поочередно координаты X и Y . Считывание значений координат осуществляется цифровым вольтметром постоянного тока, с помощью ручного контактного щупа, на котором находится переключатель для считывания координат X и Y .

Результаты измерений регистрируются цифropечатающим устройством и параллельно фиксируются на перфоленте. Специальный блок по команде с контактного щупа (при смене координат) осуществляет вспомогательную перфорацию (табулирование результатов измерений), делая перфоленту пригодной для непосредственного ввода в считывающее устройство автоматического графопостроителя. Графопостроитель, осуществляя вычерчивание кривых по заданным координатам точек, строит изображение в прямоугольной системе координат, что и является искомым, анаморфированным изображением интересующего нас явления.

Реализация этой методики не зависит от исполнителя. С другой стороны, способ электро моделирования имеет существенные недостатки. Он позволяет получать достаточно приблизительное решение. Кроме того, изменение ориентации исходного изображения относительно системы прямоугольных координат приводит к получению отличных вариантов анаморфированных изображений. Одна из самых трудоемких частей методики, а именно составление электрической модели, остается продуктом ручного труда.

В арсенале географов имеется также фотографический способ создания анаморфированных изображений. Наверное, каждый из нас может вспомнить фотографии, на которых вытянутые к фотоаппарату ладони человека становятся непропорционально большими. Если этот эффект использовать целенаправленно, то он может быть применен для получения анаморфоз (Брюханов, Тикунов, 1982). Однако при существующей технологии его реализации способ может применяться лишь для анаморфирования изображений с небольшой вариацией плотности явлений. Это связано с технической трудностью изготовления и использования моделей с большим и резким перепадом величин явлений. С другой стороны, его реализация проще по сравнению с электрическим моделированием.

Суть способа состоит в оптическом проектировании исходного картографического изображения на поверхность рельефной модели,

созданной на ее основе, с последующим фотографированием получаемой при этом трансформированной картины. Расчет высот отдельных форм рельефной модели производится по известной из аэрофотогеодезии зависимости между разномасштабностью аэроснимка и перепадом высот точек местности. В результате исходное изображение воспроизводится в центральной проекции со свойственными ей масштабными искажениями, создаваемыми преднамеренно в целях получения анаморфозы.

Описанные методики аналогового построения анаморфоз ограничиваются ранее охарактеризованными ограничениями, а кроме того, требуют использования специального оборудования, которое в отличие от ЭВМ не имеет универсального характера. Поэтому естественно, что прежде всего привлекают внимание численные методы создания анаморфированных изображений.

VI.2. ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ АНАМОРФИРОВАННЫХ КАРТОГРАФИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

При наличии достаточно большого количества методов численного построения анаморфоз (Петров, Сербенюк, Тикунов, 1983; Тикунов, 1986а; Selvin S., Merrill D., Sacks S., Wong L., Bedell L., Schulman J., 1984; Dougenik J.A., Chrisman N.R., Niemeyer D.R., 1985; White, Griffin, 1985; Tobler W.R., 1986; и др.) мы остановимся лишь на одном алгоритме. Данный метод, суть которого изложена в работе (Гусейн-Заде, Тикунов, 1992), с нашей точки зрения, имеет ряд преимуществ перед другими алгоритмами.

Основные идеи, на которых основан алгоритм построения анаморфоз, частично описаны в статье (Гусейн-Заде, Тикунов, 1992). Для их изложения введем обозначения. Допустим, что исходное картографическое изображение нанесено на плоскости с декартовой системой координат (x, y) . При этом предполагается, что проекция исходной карты равновеликая, т.е. в методике не учитываются возможные исходные искажения площадей. Такой учет может быть введен, но это несколько усложнит изложение, не добавив изменений по существу. Пусть D — изображение территории (т.е. область на плоскости), которое будет подвергаться анаморфированию. Плотность величины, в соответствии с которой должно осуществляться анаморфирование, будет рассматриваться как функция $p(x, y)$ от точки (x, y) плоскости. При этом предполагается, что функция $p(x, y)$ является “не слишком плохой”, например кусочно-непрерыв-

ной. Пусть p_0 — среднее значение плотности p по области D . Задача построения анаморфозы может рассматриваться как задача нахождения преобразования

$$u = U(x, y) \quad v = V(x, y) \quad (6.1)$$

из плоскости с координатами (x, y) в плоскость с координатами (u, v) , выравнивающего плотность $p(x, y)$ и сводящего его к средней плотности p_0 . Последнее требование эквивалентно тому, что якобиан преобразования (6.1) должен совпадать с $p(x, y)/p_0$.

Предположим сначала, что требуется выравнить плотность, постоянную (и равную p_0) всюду на плоскости, за исключением малой области (например, круга) площади Δs , в пределах которой она равна p' . Естественное преобразование анаморфирования для этого случая легко может быть описано, и, как показано в работе (Гусейн-Заде, Тикунов, 1990), с точностью до членов второго порядка малости по Δs его действие на точку z состоит в ее сдвиге на вектор:

$$\left(\frac{p}{p_0} - 1 \right) \cdot \frac{\vec{r} \cdot \Delta s}{2\pi r^2}, \quad (6.2)$$

где \vec{r} — радиус-вектор точки z с началом в центре круга, $r = \|\vec{r}\|$ — его длина.

Теперь представим всю рассматриваемую территорию D разбитой на (бесконечно) большое число (бесконечно) мелких ячеек и возьмем любую из них. Без ограничения общности ее можно рассматривать как круг (с бесконечно малой площадью). Пусть z' — центр этого круга. Плотность распределения рассматриваемой величины в пределах ячейки будем считать постоянной и равной $p' = p(z')$. Мы имеем описанное инфинитезимальное (т.е. бесконечно малое) преобразование, выравнивающее плотность, равную p' внутри ячейки и p_0 вне нее. Действие этого преобразования на точку $z = (x, y)$ плоскости состоит в сдвиге на бесконечно малый вектор (6.2). Рассмотрим по выделенным ячейкам совместное действие всех преобразований, представляя его как сдвиг каждой точки z на вектор $\vec{\psi}(z)$, равный сумме векторов сдвига точки z , соответствующих всем рассматриваемым ячейкам. В пределе (при стремлении размеров всех ячеек к нулю) этот вектор как сумма бесконечно большого числа бесконечно малых слагаемых будет записываться в виде интеграла

$$\vec{\psi}(z) = \int_D \left(\frac{p - p_0}{p_0} \right) \frac{\vec{r}}{2\pi r^2} ds. \quad (6.3)$$

В действительности, если плотность рассматриваемой величины сильно отличается от своего среднего значения, сдвиг сразу на вектор $\vec{\psi}(z)$ не является требуемым преобразованием (в частности, оно может привести к нарушению однозначности картографического изображения). Однако можно показать, что последовательные сдвиги на векторы, соответствующие описанному с малыми коэффициентами пропорциональности, действительно приводят к нужному результату.

Дадим более точное описание алгоритма. Преобразование анаморфирования h строится итерационно как предел суперпозиций некоторых преобразований h_k . Это означает, что исходное картографическое изображение подвергается действию преобразования h_1 . После этого к изображению, полученному после первого шага, применяется преобразование h_2 , к изображению после второго шага — преобразование h_3 и т.д. Преобразование h_k состоит в сдвиге точки $z = (x, y)$ на вектор $c_k \cdot \vec{\psi}_k(z)$:

$$h_k(z) = z + c_k \cdot \vec{\psi}_k(z), \quad (6.4)$$

где векторное поле $\vec{\psi}_k(z)$ определяется по функции $p_{k-1}(z)$ плотности рассматриваемого показателя после $(k-1)$ -го шага итерации (т.е. после применения преобразований $h_1, h_2, \dots, h_{(k-1)}$) точно так же, как векторное поле $\vec{\psi}(z)$ определяется по исходной функции плотности $p = p(z)$, т.е. с помощью формулы (6.3), в которой p заменено на p_{k-1} . В принципе для получения анаморфозы в качестве коэффициентов в формуле (6.4) можно использовать любую последовательность c_k ($0 < c_k < 1$) с тем лишь условием, чтобы количество малых коэффициентов c_k в начале последовательности было достаточно велико, а с определенного места коэффициенты c_k были бы равны единице. Для вычислений использовались следующие значения коэффициентов c_k : $c_k = 1/(n - k + 1)$ для $k \leq n$, $c_k = 1$ для $k > n$. Подобный выбор определялся связью между описанным алгоритмом и решением дифференциального уравнения с помощью метода Эйлера, которую трудно описать из-за недостатка места. Для расчетов бралось $n = 5$ либо 8 в зависимости от степени различий исходной функции плотности по территории. Для вычисления векторного поля $\vec{\psi}(z)$ интеграл по области D в правой части формулы (6.3) сводился к контурным интегралам вдоль границ единиц территориального деления, которые использовались для определения рассматриваемого показателя (обычно вдоль границ единиц административ-

но-территориального деления: государств, областей и т.п.). Это делалось с помощью формулы Грина-Стокса. Именно данный алгоритм использовался для построения анаморфоз, приведенных в следующем параграфе.

VI.3. ПРИМЕНЕНИЕ АНАМОРФИРОВАННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

За всю историю создания и использования анаморфоз можно найти примеры, относящиеся к самым различным областям. Но наиболее часто они используются для разнообразных характеристик населенности территории, в электоральной и медицинской географии, отображения качества окружающей среды, загрязнения воздуха и т.д. (Бочкарева, 1981, 1983; Белов, 1983; Levison, Haddon, 1965; Forster, 1966; Haro, 1968; Ruston, 1971; Perspective..., 1977; Pravda, 1977; Sliwa, 1978; Wonders, 1980; Kadmon, 1983; Selvin et al., 1984; Kelly, Neville, 1985; Uzan, 1989; и др.). В данной главе, несмотря на разнообразие методик, ранее использовавшихся для создания анаморфоз, будем использовать только алгоритм, разработанный авторами. Здесь мы прежде всего обратимся к изображениям мира. Например, на рис. 71 показана анаморфоза, созданная на основе данных по численности населения стран мира (по данным и в границах 1989 г.). По конфигурации стран они легко опознаются, и, конечно, прежде всего привлекают внимание Китай и Индия. Интересно, что здесь даже “точки” исходной карты, изображающие Гонконг или Сингапур, превращаются на анаморфозе в солидные территории. В Азии лишь Монголия и Лаос, кстати, вместе с целым континентом — Австралией выглядят более чем скромно на фоне их окружения. В Африке, которая достаточно скромна на фоне Азии, да и Европы, прежде всего обращает на себя внимание шарообразная Нигерия. Наибольшие контрасты присущи Европе — сравните “крохотный” Бенилюкс и страны Скандинавии. Относительно равномерно заселены страны Америки, за исключением Канады и Гренландии.

Нанеся на полученную анаморфозу связанные с численностью населения характеристики, например обеспеченность продуктами питания, мы получим более правильное впечатление о его дефиците, отнесенном не к территории, как на обычных картах, а более корректно — по отношению к нуждающемуся в нем населению и т.д.

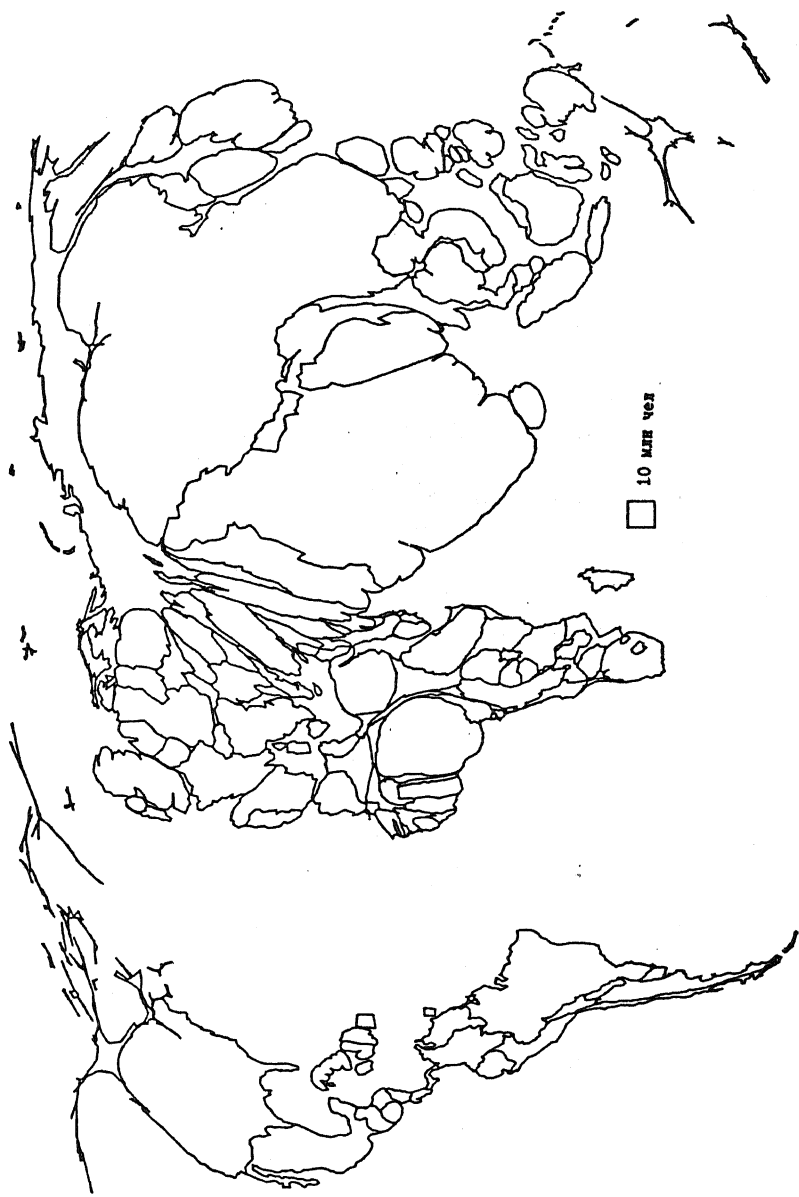


Рис. 71. Анаморфоза стран мира, созданная на основе численности населения

Обратимся теперь ко второй анаморфозе, построенной на основе данных о валовом национальном продукте (рис. 72). Контрасты здесь еще большие, чем на предыдущей анаморфозе. Прежде всего бросаются в глаза три мировых “центра богатства” — США, Западная Европа и Япония. В Европе некоторые страны деформируются столь сильно, что их даже сложно узнать. Однако если в Европе под словом “деформация” понимается растяжение, то в Африке происходит то же самое, но лишь с обратным знаком. Большинство стран Западной и Центральной Африки просто сливаются вместе. Обращает на себя внимание лишь ЮАР, да некоторые нефтедобывающие страны. Интересно взглянуть на Индию и Китай — лидеров предыдущей анаморфозы. Здесь они более чем скромны. Любопытно соотношение Китая и Гонконга на анаморфозе. Более “достойные очертания” принимает Австралия. Что касается Америки, то на фоне “денежного мешка” — США — все остальные страны выглядят более чем скромно. Поскольку Аляска включалась в расчеты как отдельная территория, то это и привело ее к “выклиниванию” в узкую полосу. Обращают на себя внимание почти правильные четырехугольники островов Пуэрто-Рико и Тринидад. После их грубого цифрования всего четырьмя точками на исходной карте из-за малости их площадей они становятся на анаморфозе довольно заметными территориями.

Серию мировых анаморфоз можно легко продолжить далее. Однако сейчас мы обратимся к анаморфозе бывшего СССР. Так, на рис. 73 изображена карта СССР (в границах 1990 г.), на которой по сетке административно-территориального деления нанесена заболеваемость инфекционным гепатитом в среднем за 1970–1985 гг. На рис. 74 представлена анаморфоза, созданная на основе данных по численности населения (1990), и на нее также нанесена заболеваемость гепатитом. Если на обычной карте кажется более серьезным повышение уровня заболеваемости в Сибири по сравнению с областями Казахстана и Средней Азии, то на анаморфозе картина прямо противоположная. Причем наиболее сильно разрастается площадь с самым высоким уровнем заболеваемости. Анализ явления по анаморфозе не оставляет сомнений в приоритетности проведения медицинской помощи и организации превентивных мероприятий.

Обратим внимание также на центральное, доминирующее положение Московской области, самой крупной на анаморфозе, которую на обычной карте читатель найдет не сразу. Хорошо проясняется соотношение доли населения Закавказских республик, Украины, Прибалтийских государств в общей массе населения бывшего Союза.

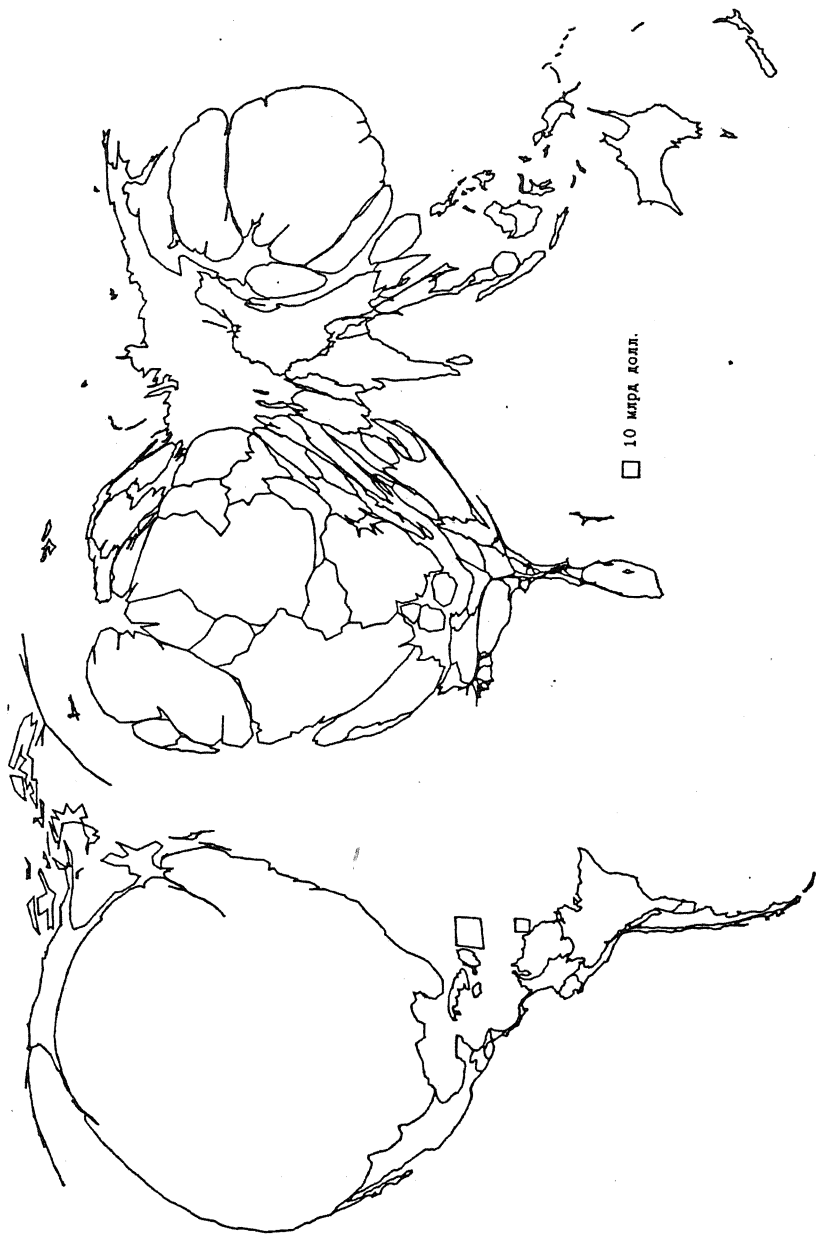


Рис. 72. Анаморфоза стран мира, созданная на основе валового национального продукта

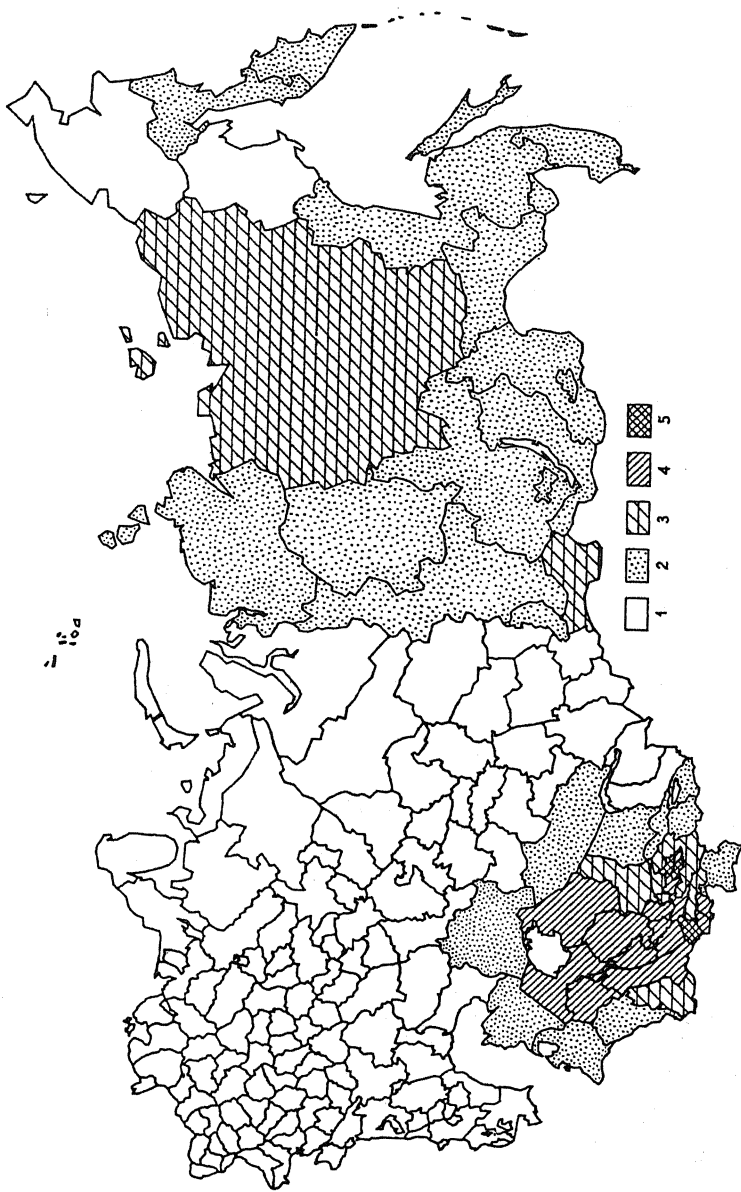


Рис. 73. Карта заболеваемости инфекционным гепатитом в СССР. Уровни заболеваемости (в интенсивных показателях на 100 000 населения): 1 — низкий (до 200); 2 — средний (200—400); 3 — повышенный (400—600); 4 — высокий (600—800); 5 — самый высокий (800 и более)

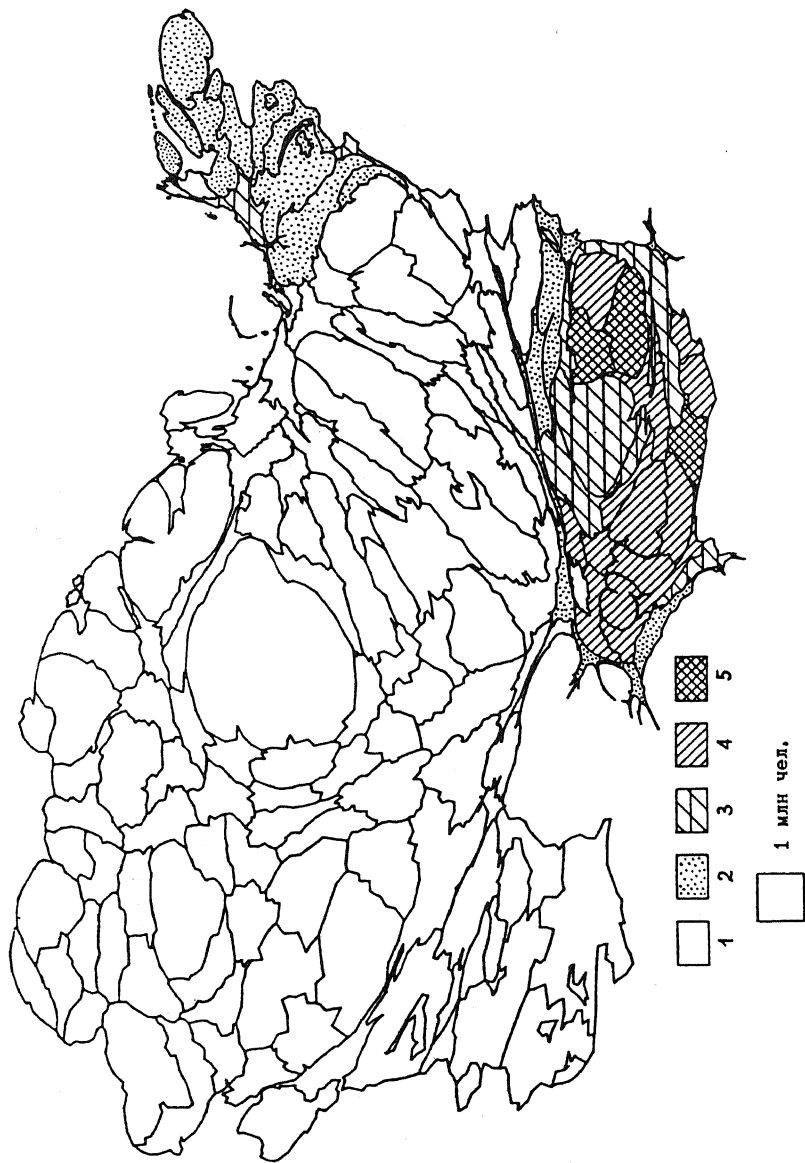


Рис. 74. Анаморфоза СССР по численности населения с характеристиками заболеваемости инфекционным гепатитом (1-5 — см. рис. 73)

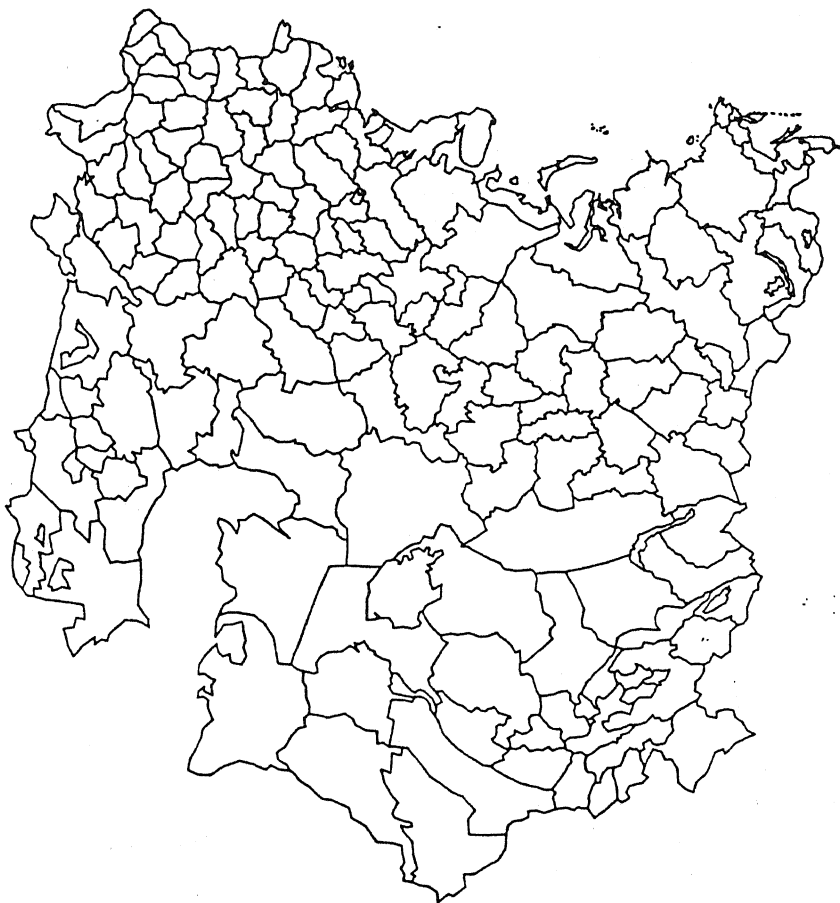


Рис. 75. Предварительное конформное преобразование карты СССР
(объяснения в тексте)

Следует отметить, что в данном случае для получения анаморфозы СССР нами использовалась модификация методики. Вначале было произведено конформное преобразование изображения страны в зависимости от пространственного распределения населения (рис. 75). Это было сделано для того, чтобы с помощью аналитически определяемого преобразования приблизить распределение населения к равномерному и тем самым существенно ускорить сходимость используемого алгоритма. Такое преобразование определялось формулами

$$\tilde{x} = C \cdot e^{ax + by} \cos (ay - bx), \quad (6.5)$$

$$\tilde{y} = C \cdot e^{ax + by} \sin (ay - bx),$$

где a и b — коэффициенты регрессии $p(x, y) = A \cdot e^z(ax + by)$ (точнее, линейной регрессии $\ln p(x, y) = \ln A + 2ax + 2by$; здесь, как и раньше, (x, y) — декартовы координаты на плоскости), C — произвольный (масштабный) коэффициент. Конформность преобразования (6.5) вытекает из того, что (6.5) является записью в вещественных координатах комплексно-аналитического преобразования $\tilde{z} = C \cdot e^{(a-ib)z}$, где $z = x + iy$, $\tilde{z} = \tilde{x} + i\tilde{y}$. Это преобразование выравнивает плотность $A \cdot e^z(ax + by)$, так как

$$\begin{aligned} |d\tilde{z}/dz| &= |C \cdot (a - ib) \cdot e^{(a-ib)z}| = \\ &= |C \cdot (a - ib) \cdot e^{ax + by}| = \text{const} \cdot e^{ax + by}. \end{aligned} \quad (6.6)$$

Наконец обратим внимание к следующей анаморфозе — России (рис. 76). Для ее построения также использовалось конформное преобразование с использованием параметров, полученных для анаморфозы СССР (см. рис. 75). Здесь прежде всего обращают на себя внимание небольшие изменения конфигурации областей после вычленения России, когда на нее не оказывают влияния сопредельные территории. На анаморфозе еще более рельефно выделяются такие области, как Московская и Ленинградская.

В данном случае на анаморфозе России (рис. 76) показана территория преимущественного компактного заселения русского населения, которая была перенесена нами с карты национального состава населения из “Атласа народов мира” (рис. 77). Если подсчитать соотношение заштрихованной площади к общей территории России на обычной карте, то она составит 31,4%, а на анаморфозе увеличивается до 78,6%. Доля русского населения, согласно последней переписи, проведенной в 1989 г., составляет 81,5%. Поэтому естественно, что анализ и выводы о национальном составе той или иной страны проще делать, ориентируясь на анаморфированное изображение, чем на традиционное.

В противном случае, не зная характера пространственного размещения плотности населения (не показываемого на картах национального состава), можно сделать абсурдный вывод, что в России преобладают народности Севера — ненцы, эвенки, ханты, чукчи, эвены, нанайцы и др., расселившиеся на огромных просторах страны. Связав этот вывод с рождаемостью, характерной для народов Севера, также визуально отнесенной не к населению, а к территории, можно получить такой же нелепый результат при характеристике республики в целом на основе данных всего о 0,11% населения, которые составляют народы Севера в общей

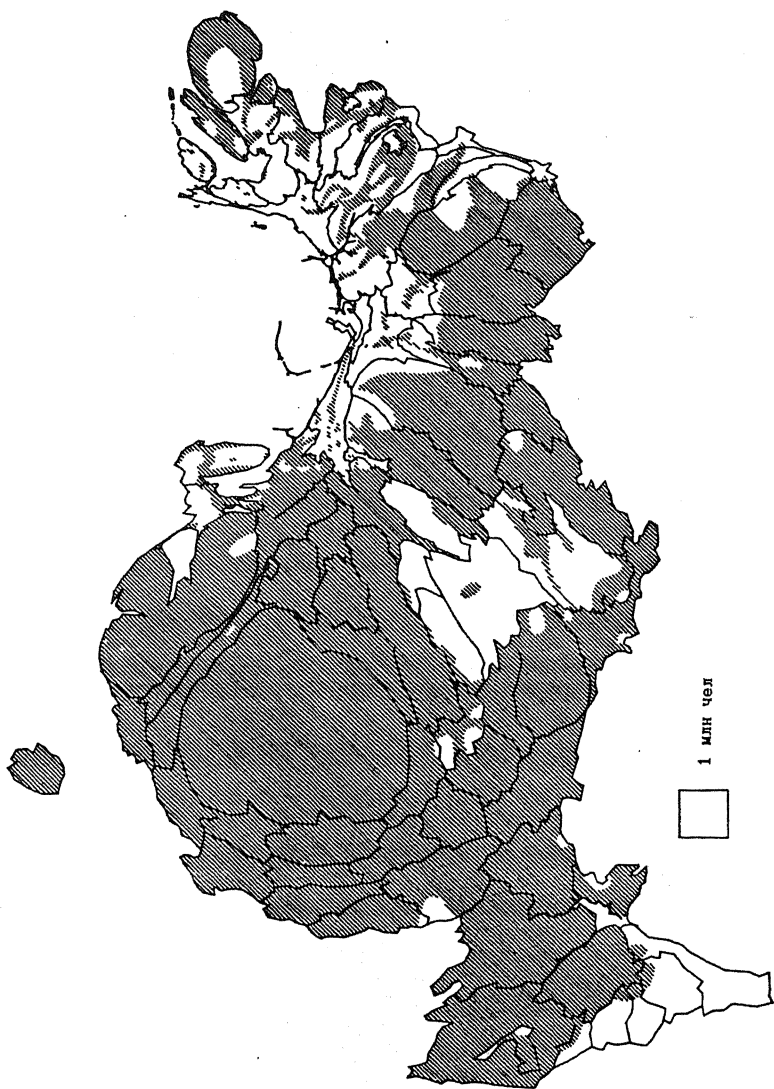


Рис. 76. Анаморфоза России по численности населения с характеристикой области преимущественного компактного заселения русского населения

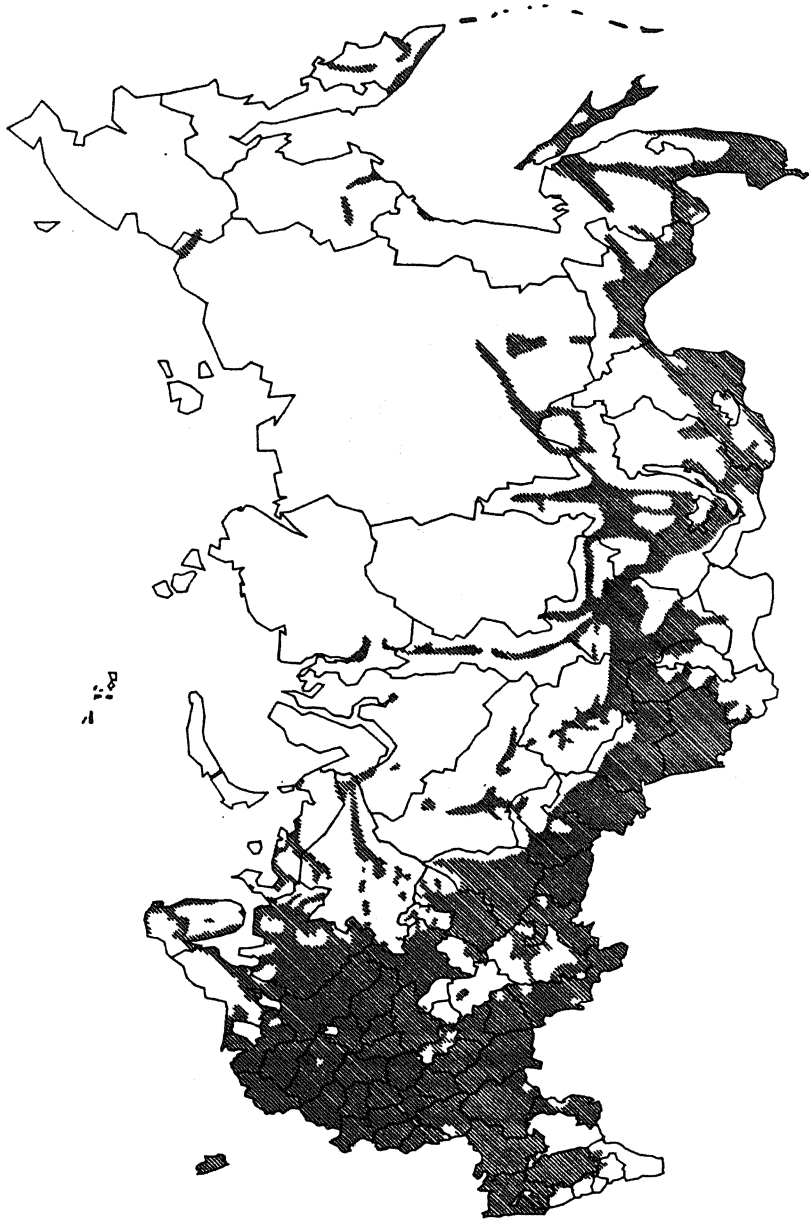


Рис. 77. Исходная карта России с характеристикой области преимущественного компактного заселения русского населения

численности Российской Федерации по данным последней переписи (Тикуннов, 1986а). Данный пример тривиален, но для небольших, малознакомых территорий такие ошибочные восприятия и суждения вероятны.

Можно привести еще множество примеров предпочтительности использования анаморфоз. Например, нами созданы анаморфозы США на основе данных по численности населения (рис. 78) и прибыли штатов (рис. 79). На полученные изображения наносились различные взаимосвязанные характеристики — национальный состав, распределение религий, уровень экономического развития штатов, количество голосов, поданных за того или иного кандидата в президенты США, к чему могут быть добавлены другие многочисленные сюжеты из атласов США или статистических сборников. Анализ различных сюжетов, особенно на основе анаморфозы по численности населения, дает разнообразную пищу для содержательного анализа.

В ряде случаев возникает потребность построения анаморфоз на основе данных, не приуроченных к каким-либо административным или природным границам. В частности, такое положение характерно для карт морей и океанов, где содержательные сведения чаще всего привязываются к трапециям сетки, создаваемой параллелями и меридианами, или к ячейкам каких-либо других регулярных сетей. Для работы с регулярными сетями разработаны модификации алгоритмов анаморфирования. Данные модификации были использованы для трансформации Атлантического океана.

В основу анаморфозы (рис. 80), построенной по сетке параллелей и меридианов с шагом в 5° , закладывался показатель распределения судов в океане. Исходная карта плотности судов в Атлантическом океане составлена на основе схемы “Прогнозного распределения судов тоннажем свыше 100 рег. т в Мировом океане (включая рыболовные суда) на 1980 год” (Экономическая..., 1979). На рис. 80 показана лишь береговая линия и сеть параллелей и меридианов, но на это изображение можно накладывать взаимосвязанные показатели. На рис. 81 показано загрязнение океана нефтяной пленкой в процентах обнаружения. Исходная карта загрязнения взята из работы (Сиголаева, Тикуннов, 1986).

На анаморфозе (рис. 81) увеличились площади с высоким загрязнением, что свидетельствует о связи числа судов с величиной загрязнения. Можно найти и другие примеры, такие, как уменьшение площадей в районе Саргассова моря, где загрязнение вели-

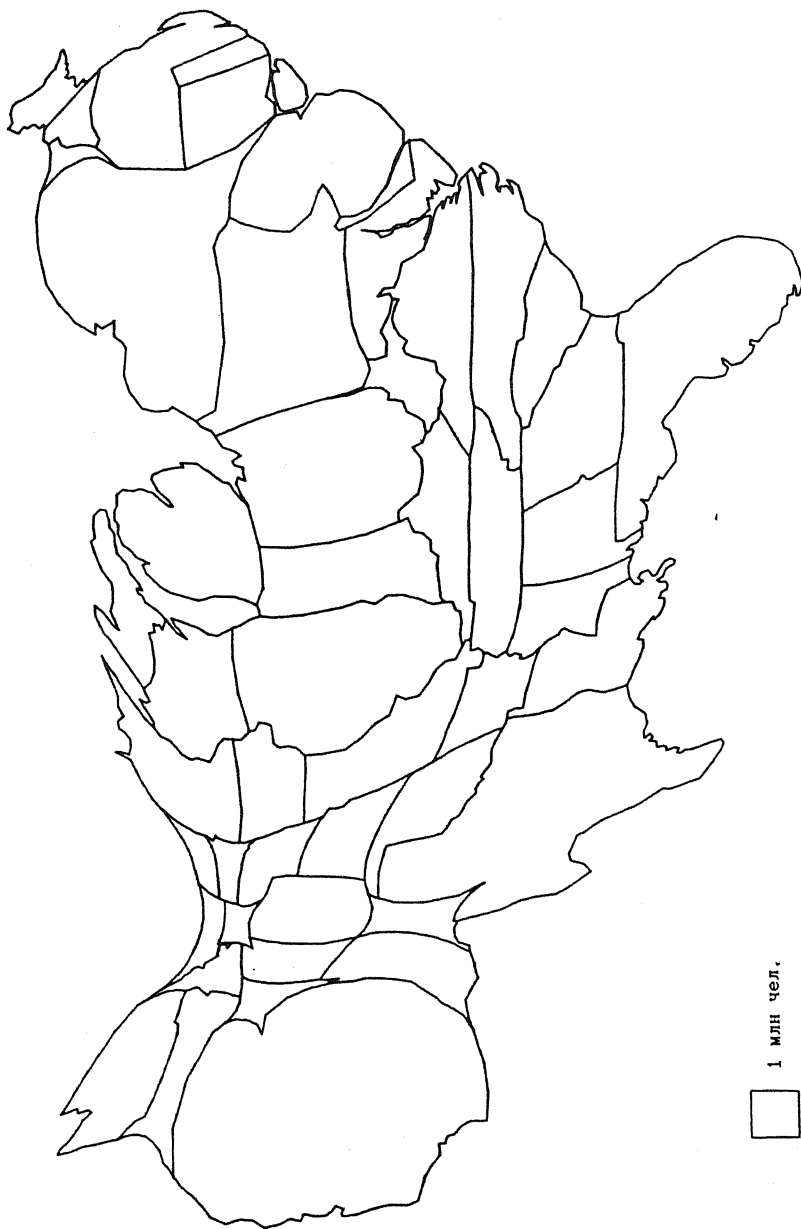


Рис. 78. Анаморфоза США, созданная на основе численности населения штатов

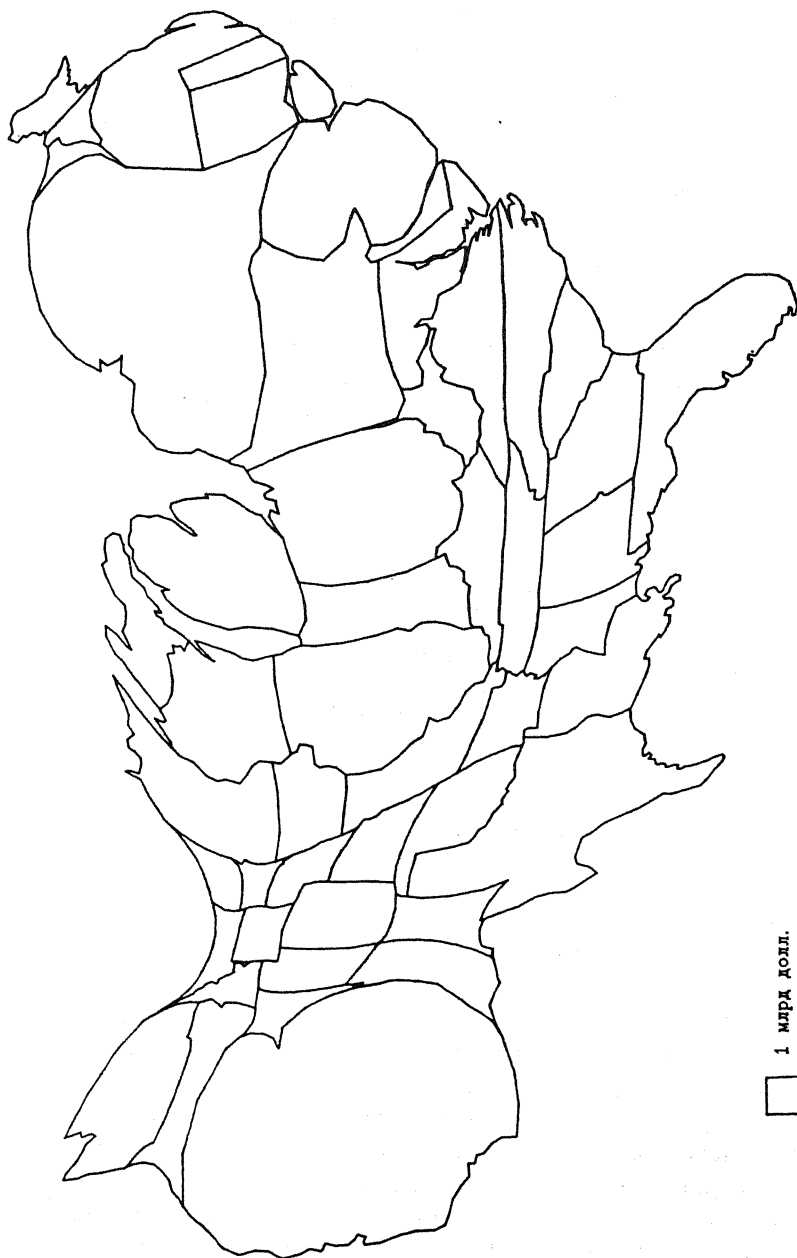


Рис. 79. Анаморфоза США, созданная на основе прибыли штатов

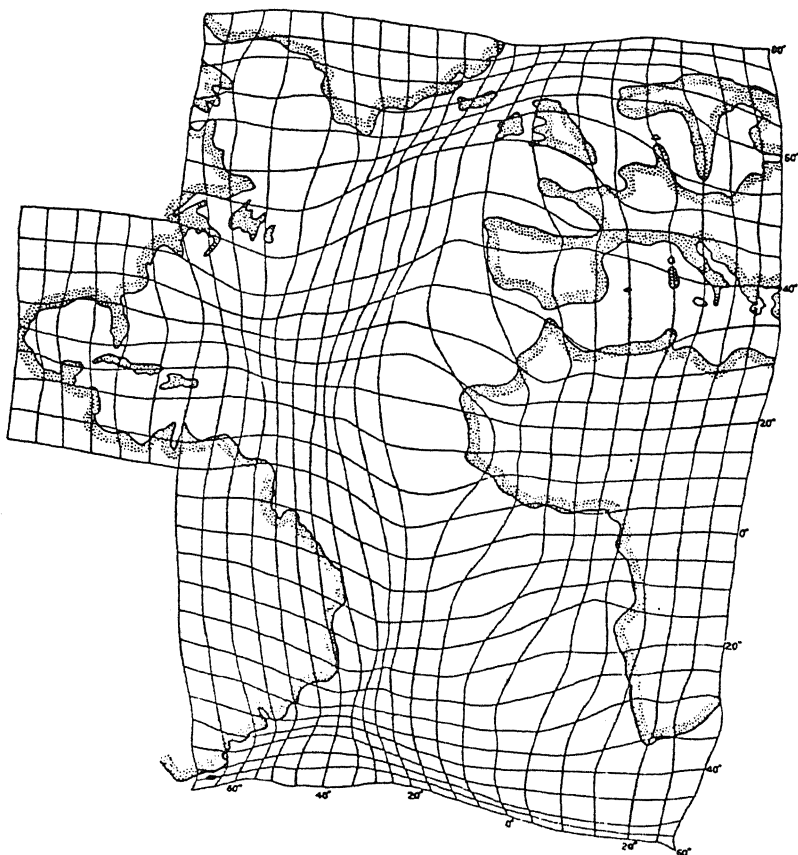


Рис. 80. Анаморфоза Атлантического океана на основе территориального распределения судов

ко, а плотность судов мала. Это можно объяснить сносом нефтяной пленки из других районов несколькими течениями, соединяющимися в этом месте. В целом нефтяная пленка встречается наиболее часто у западных берегов Африки, в Средиземном и Карибском морях. Сложное распределение нефтяной пленки зафиксировано в Мексиканском заливе и Карибском море. Характерная для этих районов пятнистость в распространении пленок возникает под воздействием сильных ветров и поверхностных течений. Высокая средняя скорость ветра наблюдается к северу от Гольфстрима, и здесь незначительное число случаев обнаружения пленки. Часто встречается нефть у Гибралтарского пролива и в Саргассовом море (20–30% случаев обнаружения). Значительное количество нефти зафиксировано у северо-западных берегов Африки. Оттуда



Рис. 81. Загрязнение океана нефтяной пленкой, показанное на анаморфозе распределения судов

нефть дрейфует к югу под воздействием Канарского и Северного пассатного течений и далее на запад к берегам Латинской Америки, где, как считается, происходит ее быстрое разрушение. Анализ закономерностей распределения нефтяной пленки интересен по изображению, в основу которого заложено распределение судов, основного загрязнителя океана.

Другим примером может служить анаморфирование на основе интегральной доступности акваторий для населения береговой зоны (рис. 82). Методика расчетов данного показателя и сама исходная карта приведены в работе (Сиголаева, Тикунев, 1986). Показатель доступности вычислялся по формуле, известной в социально-эконо-

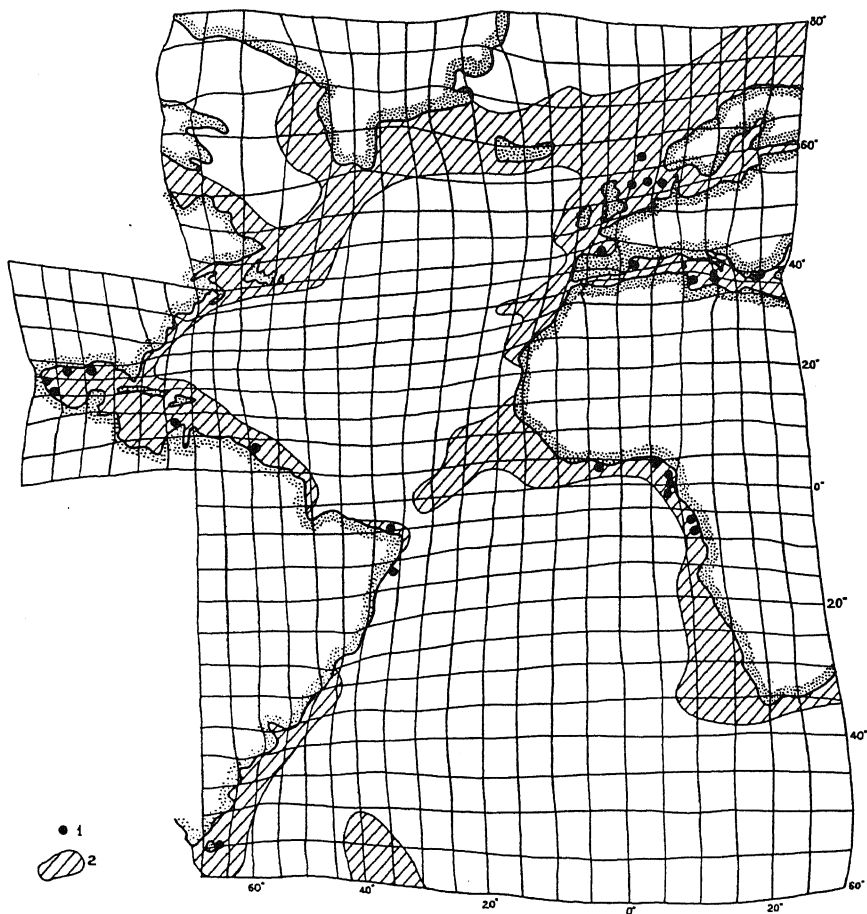


Рис. 82. Анаморфоза Атлантического океана на основе показателей доступности: 1 — крупнейшие центры нефтедобычи; 2 — районы интенсивного рыбного промысла

мической картографии как индуцированный потенциал поля расселения:

$$V_j = \sum_{i=1}^n \frac{P_i}{D_{ij}}, \quad (6.7)$$

где потенциал в ячейке j , ограниченной параллелями и меридианами, наведен всеми учитываемыми морскими портами (i) с населением свыше 100 000 человек (P_i); $D_{ij} = 6378,245 \text{ arc cos} (\sin \varphi_1 \sin \varphi_2 + \cos \varphi_1 \cos \varphi_2 \cos \Delta\lambda)$ — ортодромия, вычисляемая по географическим координатам φ и λ . В расчетах учитывались все порты Атланти-

ческого побережья: в Европе таких портов оказалось 85, в Африке — 23, в Южной и Центральной Америке — 30, в Северной Америке — 36.

На рис. 82 в основу анаморфирования закладывался показатель, обратный величине V_j . В этом случае чем больше клетки, тем в среднем менее удобно для людей осваивать эти акватории и наоборот. На рис. 82 нанесены интенсивные рыбопромысловые районы и легко оценить удобство их расположения для освоения. Аналогично можно сделать оценку расположения крупнейших нефтегазоносных месторождений.

Как показано на рис. 82, крупнейшие центры нефтедобычи расположены в Мексиканском, Венесуэльском, Северо-Европейском и Гвианском мегабассейнах. Шельф Мексиканского залива наиболее изучен и интенсивно эксплуатируется. Пробурено свыше 16 тыс. скважин. Открыто более 320 морских месторождений. Суммарные разведанные запасы на северном шельфе залива оцениваются примерно в 2 млрд т условного топлива. Ожидается, что к концу столетия здесь будет добываться 80 млн т нефти и 100 млрд м³ газа.

На втором месте в мире (после Персидского залива) по объему добычи нефти и газа стоит Маракайбский бассейн (часть Венесуэльского мегабассейна), расположенный на южном шельфе Карибского моря в лагуне Маракайбо (4 612 млн т нефти, 1 142 млрд м³ газа). Всего на континентальном шельфе Карибского моря потенциальные запасы нефти оцениваются в 12,7 млрд т. Разработка нефтегазоносных бассейнов на акватории Гвиано-Бразильского побережья началась недавно.

На шельфе Канады и США выделяются нефтегазоносные бассейны Балтимор-Каньон, Ньюфаундлендской банки и Лабрадорский. Бассейны, судя по рис. 82, легко осваиваемые, так как расположены вблизи густозаселенных экономических центров этих стран, что повышает их значимость. Потенциальные запасы нефти на Атлантическом побережье Северной Америки оцениваются в 7–8 млрд т. На Африканском побережье Атлантики месторождения нефти и газа расположены в Гвинейском заливе, на континентальном шельфе Нигерии, Габона, Анголы и других стран. На подводной окраине Северо-Западной Европы расположен крупнейший Североморский нефтегазоносный бассейн (3 700 млн т нефти, 3 100 млрд м³ газа), а также открытые в 70-х гг. месторождения в Ирландском море. В Северном море разрабатывается около 80 месторождений нефти и более 50 газа.

Завершая главу, подведем наиболее значимые итоги практической целесообразности и перспективности использования анаморфоз. Во-

первых, и это не самое главное, их убедительность как иллюстраций, позволяющих зрительно представить себе некоторые неочевидные факты, а возможно, даже и увидеть какие-то скрытые географические закономерности. Например, теоретические положения В. Кристаллера и А. Леша о закономерном пространственном размещении иерархически соподчиненных пунктов получают свое подтверждение лишь в районах с равномерным расселением. Поиск закономерного размещения населенных пунктов в плоскости однородного пространства выровненного явления, возможно, мог бы сделать принцип Кристаллера—Леша гораздо более часто встречающимся или даже универсальным. Перспективно применение анаморфоз для оптимизации размещения сетей учебных заведений, больниц, учреждений обслуживания, которые в искусственно выровненном демографическом пространстве в общем случае должны располагаться равномерно.

Во-вторых, анаморфозы делают более наглядным анализ взаимосвязей между явлениями на фоне определяющих их характеристик, заложенных в проекций, как это было показано, например, в предыдущем параграфе. В-третьих, целесообразно применение анаморфоз для прогнозирования развития диффузионных процессов, происходящих в неоднородной среде. Если противодействие развитию диффузии трансформировать в однородное по изучаемой территории, то вероятное развитие диффузии будет происходить концентрически от исходной точки. Благодаря этому можно предвидеть ее развитие во времени и легко представить в графической форме. В итоге остается лишь вернуть изображение в первоначальный вид, чтобы получить изолинии этапности распространения диффузии в неоднородной среде. Анаморфозы могут быть использованы для изучения диффузии загрязнений в атмосфере и гидросфере, а также для целого ряда других задач. То же самое можно сказать и о создании карт транспортной доступности, составляемых на фоне однородной проходимости.

Таким образом, создание анаморфированных изображений в целом ряде случаев целесообразно для моделирования структуры, взаимосвязей и динамики географических явлений. Мы надеемся, что анаморфированные изображения привлекут внимание географов разных специальностей и сделают их не экстравагантной иллюстрацией, а инструментом настоящего географического анализа. Эта область может оказаться неподнятой научной целиной, которая при умелой ее обработке даст богатый урожай.

Глава VII

НАДЕЖНОСТЬ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕМАТИЧЕСКОГО СОДЕРЖАНИЯ КАРТ

VII.1. ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ПУТЕМ СРАВНЕНИЯ АЛГОРИТМОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Методологическим вопросам оценки надежности моделирования тематического содержания карт посвящены монография (Гармиз, 1990), ряд статей (Серापинас, 1983; Тикунов, 1982; Берлянт, 1988; и др.), что избавляет нас от необходимости обращения к этим вопросам. Надежность зависит от всех этапов моделирования, начиная с анализа различных подходов при формулировке задачи и целей исследования, информационного обеспечения и методов моделирования, а также способов представления результатов моделирования (Тикунов, 1982, 1986б). Иными словами, в связи с большой сложностью географических явлений их моделирование можно будет считать действительно надежным, если мы будем подходить к нему комплексно: четко определив тип решаемой задачи, правильно дав оценку информационной обеспеченности и выбрав наиболее подходящий алгоритм моделирования, а в конце проведя оценку получаемого результата.

Влияние каждого из перечисленных этапов моделирования на его надежность будет показано в двух последних параграфах данной главы, здесь же мы остановимся на центральном моменте всего процесса моделирования — оценке надежности математических алгоритмов. Простейший, но достаточно эффективный подход — визуальное сравнение результатов моделирования на основе ряда алгоритмов и их содержательно-географический анализ. Такой эксперимент проведен нами при создании карты оценки природных условий для жизни населения Забайкалья (Сербенюк, Тикунов, 1974; Тикунов, 1985б). Однако в некоторых случаях бывает не просто сформулировать критерии сравнения различных вариантов при моделировании географических явлений. Поэтому впол-

не возможно также обсуждать достоинство полученных результатов на уровне их логического анализа. Например, предлагается использовать метод экспертных оценок — метод коллективного опыта (Симонов, Невяжский, 1978).

Иногда возможно не только качественно, но и количественно оценить степень надежности того или иного алгоритма моделирования. Например, при вычислении углов наклона и экспозиции склонов (см. параграф VIII.2) оказалось возможным как бы на модельной полусфере “теоретически точно” вычислять углы наклона и экспозиции склонов и сравнивать их с результатами, которые дают разработанные алгоритмы. Это позволяет подсчитывать среднеквадратические отклонения и суммы квадратов разностей между теоретически определенными углами и найденными с помощью разработанных алгоритмов и после этого выбрать лучший из них. Визуальное сравнение карт углов наклона и экспозиций склонов, созданных на основе реализации трех алгоритмов, такой выбор наилучшего алгоритма для моделирования сделать не позволяет.

На наш взгляд, возможна также методика предварительного опробования модели для получения результатов, которые известны заранее, с последующим ее применением для решения других аналогичных задач. Например, метод восстановления пропущенных данных Фишера (1957), опробованный на модельном примере (Сербенюк, 1970; Жуков, Сербенюк, Тикунов, 1980), что позволило количественно сравнить условно недостающие и восстановленные данные, в дальнейшем использовался для заполнения пропусков в динамических рядах урожайности картофеля (см. VI.3), когда проверить качество работы алгоритма уже сложно. Известны и другие пути оценки надежности моделирования (Тикунов, 1985б), но мы остановимся на математическом сравнении алгоритмов (Гриффит, Тикунов, 1990).

Сравнение выполнено на примере пяти популярных в США алгоритмов (SAS..., 1985) с методом типологии, описанным в параграфе II.2. В качестве конкретного материала, на основе которого проводилось сравнение, использовались данные об урожайности сахарного тростника в Пуэрто-Рико за 20 лет (с 1959 по 1978 г.) по 73 муниципиям, опубликованные в работе (Griffith, 1983). Вначале расчеты проводились по алгоритму автора, где первым шагом расчетов является нормировка по дисперсиям. В данном эксперименте опробовались два пути: при нормировке данных и без нее, поскольку исходный материал представляет собой моноструктурный набор данных. Конечные полученные результаты оказались очень близкими.

В значительной степени это объясняется сравнительной однородностью дисперсии всех 20 характеристик урожайности сахарного тростника по годам. Максимальное парное отношение дисперсий достигает 5,2, для большинства других временных рядов оно не превышает 2,5. В ситуациях, когда показатели имеют существенно более отличающиеся дисперсии, использование нормировки, естественно, предпочтительнее.

Следующий шаг касался выбора мер сходства территориальных единиц (муниципий) по комплексу показателей. В примере по Пуэрто-Рико наилучшие результаты получаются при использовании евклидовых расстояний. Однако известно, что использование евклидовых расстояний предполагает расчет их в пределах ортогональной системы координат. Согласно этому требованию показатели были обработаны по методу главных компонент. Для нашего примера уже первая компонента выбирает 90,2% дисперсии всей системы нормированных показателей, и поэтому только она использовалась для вычисления ортогонализированной матрицы исходных нормированных показателей, служащих основой для расчетов евклидовых расстояний. Учитывая число муниципий (73), количество их пар, условно связываемых евклидовыми расстояниями, достигает 2628, которые в своей совокупности образуют симметричную диагональную матрицу D (см. формулу (2.26)).

Использование в расчетах временных рядов урожайности сахарного тростника по муниципиям предполагает также необходимость учета наличия в них тренда, который может быть элиминирован несколькими путями, из которых нами опробовались два. Первый заключается в вычитании значений линейной регрессии из фактических величин урожайности во временных рядах каждой муниципии. Вторая методика связана с вычитанием последующих значений из предыдущих во временных рядах. Как известно из литературы, эти две методики тесно взаимосвязаны. Их использование в нашем примере не дает более достоверно интерпретируемых результатов, и поэтому нами данный этап был исключен.

Реализация алгоритма типологии при $t_{\max} = 15$, а $t_{\min} = 2$ позволила в примере для Пуэрто-Рико получить 14 вариантов классификации, из которых с учетом коэффициентов неоднородности выбрана группировка на шесть классов (рис. 83). Первая группа включает в себя муниципии внутренних нагорий и высокоурбанизированную агломерацию Сан-Хуана, где сбор сахарного тростника невелик или вовсе отсутствует. Вторая группа включает муниципии с самым высоким уровнем производства. Третья группа состо-

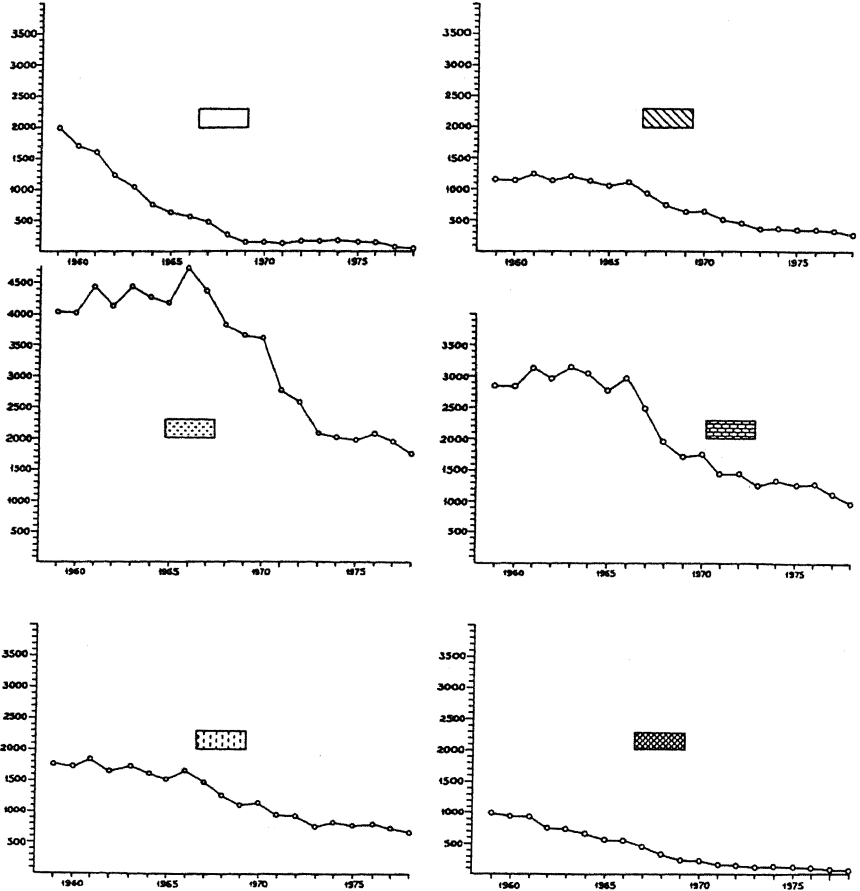
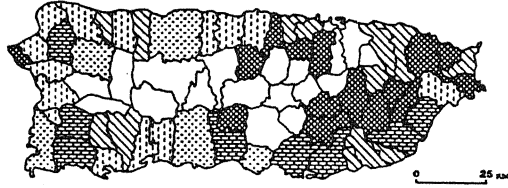


Рис. 83. Типология муниципий Пуэрто-Рико по характеру изменений сбора сахарного тростника за 1959–1978 гг. (группы объяснены в тексте)

ит из муниципий со средней урожайностью; четвертая группа — из муниципий с низким уровнем производства. Муниципий пятой группы располагаются на быстро урбанизирующихся территориях, так что в первые годы изучаемого временного периода они имели по крайней мере средний уровень производства, а к концу периода оно стало незначительным или исчезло совсем. Шестая груп-

па имеет такую же тенденцию в уровнях производства, что и пятая, но не по всему временному ряду. Муниципии пятой и шестой групп как бы кольцом окружают первую группу и, кроме того, их пространственная конфигурация согласуется с высокоурбанизированными площадями — Сан-Хуаном, Кагуас, Понсе, Аресибо и Майагуэс.

В работе (SAS..., 1985) описано пять популярных в США алгоритмов для многомерных классификаций. Эти методы используют расчет расстояний в евклидовом пространстве. Первый алгоритм, известный как метод Варда, основывается на анализе дисперсий, и группы выделяются так, чтобы вариация внутри них была бы минимальной, а между группами — максимальной. Здесь W_k определяется как

$$W_k = \sum_{k=1}^{K-1} \sum_{l=k+1}^K \sum_{p=1}^P \left(\sum_{i=1}^n x_{ip} I_{ik} / n_k - \sum_{j=1}^n x_{jp} I_{jl} / n_l \right)^2 n_k n_l / (n_k + n_l), \quad (7.1)$$

$$k = 2, 3, 4, \dots, t_{\max}.$$

Второй метод “средних связей” использует расстояния между двумя группами как среднее расстояние между всеми парами территориальных единиц в каждой группе, и здесь W_k вычисляется по формуле

$$W_k = \sum_{k=1}^{K-1} \sum_{l=k+1}^K \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n \left[\sum_{p=1}^P (x_{ip} - x_{jp})^2 \right]^{1/2} I_{ik} I_{jl} / n_k n_l, \quad (7.2)$$

$$k = 2, 3, 4, \dots, t_{\max}.$$

В центроидном методе расстояние между двумя группами определяется как квадрат евклидова расстояния между их соответствующими средними значениями. В этом алгоритме W_k равно

$$W_k = \sum_{k=1}^{K-1} \sum_{l=k+1}^K \sum_{p=1}^P \left(\sum_{i=1}^n x_{ip} I_{ik} / n_k - \sum_{j=1}^n x_{jp} I_{jl} / n_l \right)^2, \quad (7.3)$$

$$k = 2, 3, 4, \dots, t_{\max}.$$

В методе “полных связей” расстояние между двумя группами определяется как максимальное расстояние между всеми возможными

ми парами территориальных единиц, по одной выбираемых из каждой группы. Здесь W_k вычисляется как

$$W_k = \sum_{k=1}^{K-1} \sum_{l=k+1}^K \text{MAX} \left\{ \left[\sum_{p=1}^n (x_{ip} - x_{jp})^2 \right]^{1/2} \times \right. \\ \left. \times I_{ik} J_{jl} \mid \begin{array}{l} i = 1, 2, 3, \dots, n; \\ j = 1, 2, 3, \dots, n \end{array} \right\}, \quad (7.4) \\ k = 2, 3, 4, \dots, t_{\max}.$$

Наконец, в методе “одинарной связи” расстояние между группами определяется как минимальное из всех пар территориальных единиц, выбирая их по одной из каждой группы. Здесь W_k равно

$$W_k = \sum_{k=1}^{K-1} \sum_{l=k+1}^K \text{MIN} \left\{ \left[\sum_{p=1}^n (x_{ip} - x_{jp})^2 \right]^{1/2} \times \right. \\ \left. \times I_{ik} J_{jl} \mid \begin{array}{l} i = 1, 2, 3, \dots, n; \\ j = 1, 2, 3, \dots, n \end{array} \right\}, \quad (7.5) \\ k = 2, 3, 4, \dots, t_{\max}.$$

Для сравнения этих пяти алгоритмов с методом автора проведена классификация муниципий. Значения критерия суммарного расстояния, полученные при использовании всех методов, приведены в табл. 5.

Таблица 5

Значения критерия расстояния между группами муниципий для американских методов, реализованных на примере Пуэрто-Рико

Шаг группировки	М е т о д ы				
	Варда	Средних связей	Центроидный	Полных связей	Одинарной связи
6	0,9835	0,2681	0,2520	0,5081	0,1371
5	0,9659	0,2824	0,2623	0,5814	0,1537
4	0,9449	0,4033	0,3801	0,8456	0,1933
3	0,8719	0,6618	0,6112	1,5127	0,1933
2	0,7248	0,9399	0,9240	1,7598	0,3708
1	0,0000	1,6667	1,5626	3,6433	0,8856
Целесообразное количество группировок					
	2-4	2-5	2-5	2-14	2-3

Формальный выбор окончательных результатов показывает, что количество групп может быть даже меньшим чем 6. Однако карты, отражающие такие результаты, могут показаться слишком схематичными. Табл. 6 представляет результаты простого корреляционного сравнения наборов групп. Нет случая, чтобы классификации совпали полностью, однако три группы оказываются очень близкими к тому, как они выделяются другими методами.

Таблица 6

Идентичные группы, установленные с помощью алгоритмов группировки

М е т о д ы					
Алгоритм автора	Варда	Средних связей	Центро-идный	Полных связей	Одинарной связи
1	6	(6)	5	(6)	
2	1	1	1	1	(1, 2)
3	(5)	(3)	(3)	(2)	
4	(3)	(4)	(4)	(5)	
5	2	2	2	3	(3, 4, 5)
6	(4)	(5)	(6)	(4)	

Примечание: Цифры в скобках соответствуют номерам групп, имеющим наибольшие значения коэффициента корреляции ($0,4 < r < 1,0$) с соответствующей группой, выделенной алгоритмом автора.

Сопоставление систем классификаций, по сути дела, является классической задачей корреляции, цель которой состоит в отыскании линейной комбинации некоторой пары классификационных схем, представленных максимально коррелирующимися переменными, входящими в уравнения (7.1)–(7.5). Стандартные расчеты коэффициентов значимости в этом случае неприемлемы, поскольку коэффициенты корреляции вычисляются для пар номинальных переменных. Очевидно, что предпосылка многовариантной нормализации при этом не выполняется. Таким образом, установленная каноническая структура в действительности оказывается лишь описательной. Более того, даже если некоторыми американскими алгоритмами в точности выделяются одни и те же группы, это еще не может служить безусловным свидетельством наличия канонической структуры, поскольку показатели не являются независимыми, тогда как канонические показатели являются ортогональными по постановке задачи. По определению показатели являются взаимно исключающими, а в совокупности — исчерпывающими для классификации. Однако в случае, если две выборки показателей совпадают, коэффициенты канонической корреляции (Кендалл, Стьюарт, 1976) будут равны единице и две системы канонических структур будут характеризоваться одним и тем же набором коэффициентов корреляции.

Каждая из структур канонической корреляции, представленных в табл. 7–11, построена на сопоставлении результатов группировки, выполненной по алгоритму автора, с американскими. Как видно из табл. 6, значение коэффициента канонической корреляции, равное единице, получается в случае, когда алгоритмами формируется одна и та же группа. Следовательно, в табл. 7 присутствуют три канонические корреляции групп, равные единице, поскольку алгоритмы Варда и автора привели к трем идентичным группам. Два значения коэффициента канонической корреляции, равные единице, получены по результатам сопоставления нашего алгоритма и метода “одинарной связи”, так как вторая группа алгоритма автора эквивалентна группам 1 и 2 американского метода (в терминах признаков переменных $I_{T2} = I_{SL1} + I_{SL2}$), а пятая группа тождественна совокупности 3, 4 и 5 группам, определенным методом “одинарной связи”.

Таблица 7
Сопоставление структур канонической корреляции
по алгоритму автора и методу Варда

Каноническая корреляция		К а н о н и ч е с к а я с т р у к т у р а				
		1	2	3	4	5
		1.0000	1.0000	1.0000	0.8768	0.4937
Группы, выделенные по алгоритму автора	1	-0.1717	-0.3288	-0.9287	0.0000	0.0000
	2	0.5506	0.8053	-0.2199	0.0000	0.0000
	3	-0.2595	0.0989	0.3131	0.7630	-0.4926
	4	-0.2480	0.0945	0.2991	0.0733	0.9136
	5	0.7730	-0.5714	0.2755	0.0000	0.0000
	6	-0.2710	0.1032	0.3268	-0.8129	-0.3851
Дисперсия, %		14.1	12.1	26.7	24.5	22.7
Группы, выделенные методом Варда	1	0.5506	0.8053	-0.2199	0.0000	0.0000
	2	0.7730	-0.5714	0.2755	0.0000	0.0000
	3	-0.2710	0.1034	0.3268	0.4182	0.7964
	4	-0.3160	0.1204	0.3812	-0.8313	-0.2218
	5	-0.1869	0.0712	0.2255	0.6268	-0.7186
	6	-0.1717	-0.3288	-0.9287	0.0000	0.0000
Дисперсия, %		14.7	12.3	27.6	25.0	20.4

Идентичность групп означает полную тождественность в них канонических переменных, а также точное совпадение коэффициента корреляции между рассматриваемыми признаковыми и каноническими переменными. Например, группы 6, 1 и 2, определенные методом Варда, и 1, 2, 5 нашего алгоритма эквивалентны. В табл. 7 первая каноническая переменная соответствует корреляции пары

групп 2–5 ($r = 0,773$), вторая каноническая переменная — корреляции пары 1–2 ($r = 0,805$) и третья каноническая переменная — корреляции пары 6–1 ($r = -0,929$). Следует обратить внимание на то, что, поскольку сумма шести признаков переменных всегда равна единице (т.е. некоторая площадная единица должна быть в одной и только одной из шести групп), обязательно должны присутствовать отрицательные коэффициенты корреляции. Что касается двух не упомянутых канонических переменных, по их поводу можно предположить, что 3-я и 6-я группы нашего метода аналогичны четвертой и пятой группам Варда, а 4-я группа идентична третьей и пятой.

В табл. 8 приведены результаты сопоставления алгоритма автора и метода “средней связи”. Как и в предыдущем случае, из табл. 6 следует, что пятая группа нашего алгоритма и группа 2, выявленная методом “средней связи” (каноническая переменная 1), эквивалентны; тождественными являются также 2-я группа и первая тех же методов (каноническая переменная 2). Остальные канонические структуры намного сложнее, чем структуры, полученные с помощью алгоритма Варда. Первая и третья группы нашего метода аналогичны группе 6, выявленной по алгоритму “средней связи”, а первая, третья, четвертая и шестая подобны группам 3 и 5. И наконец, 4-я и 6-я группы аналогичны группам 3, 4 и 5 этих методов.

Таблица 8
Сопоставление структур канонической корреляции
по алгоритму автора и методу “средних связей”

Каноническая корреляция	К а н о н и ч е с к а я с т р у к т у р а					
	1	2	3	4	5	
	1.0000	1.0000	0.9360	0.6766	0.4294	
Группы, выделенные по алгоритму автора	1	-0.2164	-0.1551	-0.7025	0.5561	0.3553
	2	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	3	-0.1843	-0.1321	0.7375	0.5384	-0.3388
	4	-0.1761	-0.1262	0.3653	-0.5703	0.7031
	5	0.9955	-0.0951	0.0000	0.0000	0.0000
	6	-0.1924	-0.1379	-0.3151	-0.5778	-0.7147
Дисперсия, %	14.9	9.5	26.1	25.2	24.3	
Группы, выделенные методом “средних связей”	1	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	2	0.9955	-0.0951	0.0000	0.0000	0.0000
	3	-0.1327	-0.0951	0.5675	0.5731	-0.5682
	4	-0.1924	-0.1379	0.5848	-0.2203	0.7439
	5	-0.1761	-0.1262	-0.0932	-0.8006	-0.5509
	6	-0.2648	-0.1898	-0.8044	0.4603	0.1867
Дисперсия, %	15.8	10.0	29.3	22.9	22.0	

В табл. 9 представлены результаты сравнительного анализа нашего и центроидного методов. В этом случае идентичными являются три таксона: 5-я группа метода автора и 2-я — центроидного (каноническая переменная 1); 1-я и 5-я группы (каноническая переменная 2); 2-я и 1-я группы (каноническая переменная 3). Оставшаяся структура является несколько менее сложной, чем в алгоритме “средней связи”. Группы 3 и 6 сходны между собой, а 4-я группа аналогична группам 3 и 4.

Таблица 9
Сопоставление структур канонической корреляции по алгоритму автора и центроидному методу

Каноническая корреляция		К а н о н и ч е с к а я с т р у к т у р а				
		1	2	3	4	5
		1.0000	1.0000	1.0000	0.8768	0.4937
Группы, выделенные по алгоритму автора	1	-0.4909	0.8685	0.0688	0.0000	0.0000
	2	0.0272	-0.2401	0.9704	0.0000	0.0000
	3	-0.0779	-0.3474	-0.2199	0.7630	-0.4926
	4	-0.0744	-0.3320	-0.2101	0.0733	0.9136
	5	0.9497	0.3095	-0.0481	0.0000	0.0000
	6	-0.0813	-0.3627	-0.2296	-0.8129	-0.3851
Дисперсия, %		16.7	25.8	10.0	24.5	22.7
Группы, выделенные центроидным методом	1	0.0272	-0.2401	0.9704	0.0000	0.0000
	2	0.9497	0.3095	-0.0481	0.0000	0.0000
	3	-0.0561	-0.2502	-0.1584	0.6268	-0.7186
	4	-0.0813	-0.3627	-0.2296	0.4182	0.7964
	5	-0.4909	0.8685	0.0688	0.0000	0.0000
	6	-0.0948	-0.4231	-0.2678	-0.8313	-0.2218
Дисперсия, %		17.0	26.9	10.8	25.0	20.4

В табл. 10 приведены результаты сопоставления нашего алгоритма и метода “полных связей”. Первая каноническая переменная устанавливает тождественность 5-й группы алгоритма, разработанного автором, и группы 3 метода “полных связей”, а вторая каноническая переменная — эквивалентность второй и первой групп. И как в предыдущих случаях, оставшаяся каноническая структура имеет высокий уровень сложности. Группы 1 и 3 нашего метода аналогичны группам 2, 5 и 6 метода “полных связей”. Группы 4 и 6 схожи с группами 2, 4 и 5, а 2 и 4, установленные американским методом, аналогичны 1, 3, 4 и 6-й группам нашего метода. Табл. 11 дает представление о сравнении рассматриваемых методов.

Таблица 10

Сопоставление структур канонической корреляции
по алгоритму автора и методу “полных связей”

Каноническая корреляция		К а н о н и ч е с к а я с т р у к т у р а				
		1	2	3	4	5
		1.0000	1.0000	0.9360	0.6766	0.4294
Группы, выделенные по алгоритму автора	1	-0.2149	-0.1573	-0.7025	0.5561	0.3553
	2	-0.0099	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	3	-0.1830	-0.1339	0.7375	0.5334	-0.3388
	4	-0.1748	-0.1280	0.3653	-0.5703	0.7031
	5	0.9964	-0.0852	0.0000	0.0000	0.0000
	6	-0.1910	-0.1398	-0.3151	-0.5778	-0.7147
Дисперсия, %		14.9	9.5	26.1	25.2	24.3
Группы, выделенные методом “полных связей”	1	-0.0099	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	2	-0.1318	-0.0964	0.5675	0.5731	-0.5682
	3	0.9964	-0.0852	0.0000	0.0000	0.0000
	4	-0.1748	-0.1280	-0.0932	-0.8006	-0.5509
	5	-0.1910	-0.1398	0.5848	-0.2203	0.7439
	6	-0.2629	-0.1924	-0.8044	0.4603	0.1867
Дисперсия, %		15.7	10.0	29.3	22.9	22.0

Таблица 11

Сопоставление структур канонической корреляции
по алгоритму автора и методу “одинарной связи”

Каноническая корреляция		К а н о н и ч е с к а я с т р у к т у р а				
		1	2	3	4	5
		1.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Группы, выделенные по алгоритму автора	1	-0.2332	-0.1285			
	2	0.9025	-0.4308			
	3	-0.1986	-0.1094			
	4	-0.1898	-0.1046			
	5	0.3430	0.9393			
	6	-0.2073	-0.1142			
Дисперсия, %		11.3	13.1			
Группы, выделенные методом “одинарной связи”	1	0.3922	-0.1872			
	2	0.8013	-0.3825			
	3	0.2024	0.5543			
	4	0.1641	0.4494			
	5	0.2024	0.5543			
	6	-0.8759	-0.4826			
Дисперсия, %		47.8	22.6			

В заключение можно сделать вывод, что алгоритм автора позволяет получать результаты, совпадающие с американскими методами, но наиболее близок он к центроидному методу. Это неудивительно, если принять во внимание схожесть целевых функций, заложенных в этих методах. Вместе с тем решения отличаются, как уже отмечалось, комбинацией групп. Сопоставление уравнения (2.27) с (7.1)–(7.5) свидетельствует о том, что целевая функция нашего алгоритма отличается от американских методов, но она более сходна с методами Варда, “средней связи” и, как уже говорилось, особенно центроидного. Результаты, представленные в табл. 5, подчеркивают это сходство. Из опыта работ с американскими методами установлен ряд их свойств. Так, например, метод Варда лучше выделяет классы при равномерном распределении исходных единиц, но этот метод очень чувствителен к статистическим выбросам. Метод “средней связи” лучше формирует таксоны с одинаковой дисперсией. Центроидный метод также чувствителен к выбросам.

VII.2. КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ОЦЕНОК НАДЕЖНОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ

В предыдущем параграфе были рассмотрены способы оценки надежности моделирования, но возможно не только их вычислять, но и картографировать различия результатов реализации моделей. Такие карты позволяют избежать односторонности суждений о рассматриваемых географических явлениях. Чтобы показать величины и способы картографического отображения возможных различий результатов моделирования, продолжим эксперимент по количественной оценке уровней развития отраслей обрабатывающей промышленности Японии, описанный в параграфе V.2.

Если в ранее описанном примере различия в реализации моделей приводили в среднем к небольшим отличиям в получаемых результатах, то можно показать, сколь сильно они возрастают лишь при изменениях нормировок исходных показателей. Вновь воспользуемся методикой расчетов синтетических характеристик уровней развития промышленности с использованием показателей, близких по смыслу к известным евклидовым расстояниям (см. формулы (5.4) и (5.5)). Однако для их расчета можно предварительно нормировать исходные показатели не только по формуле (2.30), но и по дисперсиям (2.24) или в виде отклонений от среднеариф-

метического $\hat{x}_{ij} = x_{ij} / \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij} \right)$ и т.д. (Жуковская, Мучник, 1976;

и др.). Заметим, что все эти нормировки широко применяются в географии.

Проведя моделирование с использованием трех указанных нормировок и вычислив величины S по формуле, которые указывают отстояния штриховок между собой по каждой префектуре, получаем три соответствующие карты (рис. 84, *A, B, C*). Аналогично с экспериментом по конструированию сложной сетевой модели (параграф V.2) создадим на основе этих трех карт одну результирующую (рис. 84, *D*). Это позволяет оценить близость каждого из вариантов расчета уровней развития промышленности к среднеарифметическим значениям и закартографировать эти отличия, что и сделано на картах (рис. 84, *E, F, G*). Получив соответствующие изображения, легко заметить, что показанные на них величины гораздо большие, чем на аналогичных картах, приведенных на рис. 59, *E-G*. Максимальное отличие величины отклонения характеристики уровня развития, полученное с использованием нормировки по формуле (2.30), от соответствующей среднеарифметической величины достигает 48%. Кстати, приходится оно на ту же префектуру (Тиба), которая имела максимальное отличие (17%) при конструировании сетевой модели. Кроме того, велика доля префектур, имеющих величины отклонений в пределах от 16 до 27%.

Чем же объяснить эти большие отличия? Прежде всего тем, что в эксперименте не учтена содержательно-географическая суть моделируемого явления. Так, лишь нормировка по формуле (2.30) позволяет правильно соотнести используемые показатели между собой, учитывая "полюса" каждого из них, соответствующие логическим понятиям высокого и низкого уровней развития. Другие нормировки стандартизируют показатели "механически", формально и не учитывают особенностей признаков-индикаторов развития промышленности, что приводит к географически неверным результатам оценки (см. рис. 84, *B* и *C*).

Данный эксперимент в очередной раз подтверждает необходимость постоянного учета содержательных особенностей моделируемых явлений, но не отрицает возможностей использования различных нормировок, когда они соответствуют сути явлений. В частности, при создании типологических карт на основе методов многомерного анализа с успехом используется нормировка по дисперсиям и др., однако для создания оценочных карт, на наш взгляд, эффективнее нормировка по формуле (2.30).

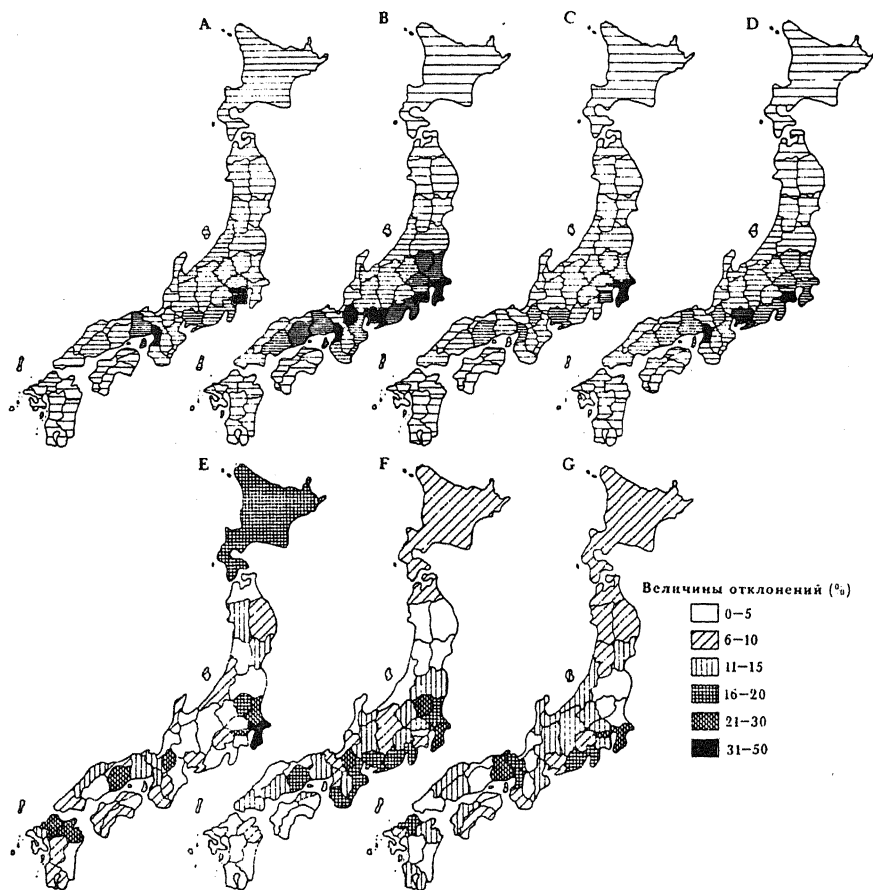


Рис. 84. Карты уровней развития отраслей обрабатывающей промышленности по префектурам Японии: *A* — результаты первого пути моделирования с использованием нормировки от наихудших значений, *B* — с использованием нормировки от дисперсиям, *C* — с использованием нормировки от среднеарифметического; *D* — их совмещенный, окончательный вариант оценки уровней развития. Сплошная заливка соответствует нулевому отстоянию штриховок друг от друга (наивысший уровень развития). Карты *E*, *F*, *G* отображают величины отклонений характеристик уровней развития промышленности соответствующих вариантов моделирования от совмещенного варианта *D* (величина, равная единице, соответствует 100%)

Заманчива также перспектива возможности оценки и картографирования устойчивости границ таксонов, что может свидетельствовать о жесткости и качестве многомерных классификаций. Такая возможность появляется при реализации многовариантных алгоритмов, описанных в гл. II, с целью создания типологических или оценочных карт. Так, если при переходе от одного варианта классифи-

кации к другому границы между какими-либо группами территориальных единиц не изменяются, то можно говорить об их устойчивости. Это позволяет даже установить иерархическую систему более или менее устойчивых рубежей и отобразить их на карте, например, с помощью картографического способа — линейных знаков разной толщины или окраски.

Для примера приведем карту устойчивости границ групп префектур Японии, выделенных по степени развития отраслей обрабатывающей промышленности (рис. 85). Система карт, отражающих процесс группировки префектур и служащих исходным материалом для построения данной карты, приведена на рис. 86.



Рис. 85. Устойчивость границ групп префектур Японии. Границы, разделяющие группы префектур до уровня их агрегации на: 1 — семь; 2 — шесть; 3 — пять; 4 — четыре; 5 — три; 6 — два таксона (см. рис. 86)

Для установления уровней развития групп префектур на данных картах использованы коэффициенты S_i (см. формулу (2.32)). Данные характеристики можно применять для картографирования таксонов, как это сделано на рис. 86. Здесь расстояния между штрихами каждой из префектур соответствуют средним значениям величин S_i . Ориентация штриховки постепенно меняет свой наклон, что графически лучше выделяет таксоны друг от друга. В случае объединения таксонов ориентация штриховки будет средней от штриховок, вошедших в объединенную группу. Утолщенными линиями на рис. 86 разделены слабо-, средне- и высокоразвитые группы префектур.

При анализе полученных карт (см. рис. 59 и 86) прежде всего отметим чрезвычайно важную особенность классификации: при уве-

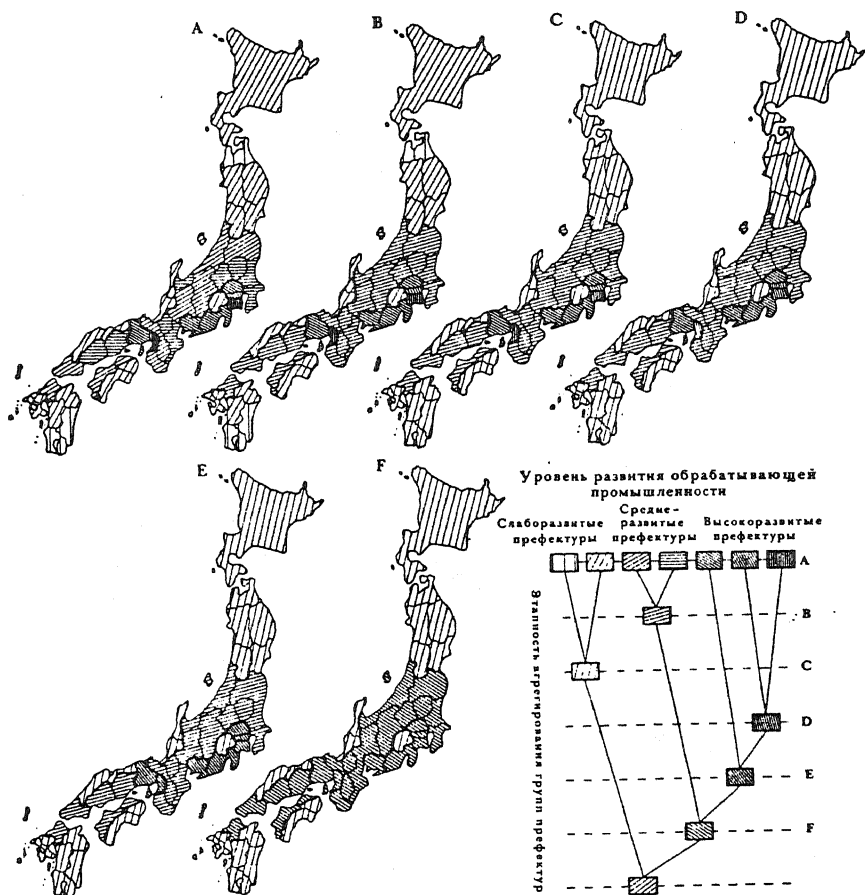


Рис. 86. Карта многовариантной классификации префектур Японии по уровням развития отраслей обрабатывающей промышленности

личении дробности разбиения всей совокупности префектур на таксоны границы между группами на предшествующих уровнях классификации сохраняются. Иными словами, при переходе от выделения, например, 3 групп к выделению 4, имеет место обособление нового таксона внутри одного из ранее существовавших, а не за счет "переформирования" ранее образовавшихся таксонов. Это позволяет сделать вывод о стабильности границ между качественно различными классами префектур, т.е., как бы ни увеличивалась дробность разбиения, всегда между наиболее и наименее развитыми префектурами будет существовать одна граница, которая была выделена на 2-м уровне классификации, и т.д. Непересекаемость образованных на разных уровнях группировки таксонов четко просле-

живается в легенде к карте и на всех шести вариантах классификации (рис. 86).

Отметим еще один важный момент, который проявляется при последовательном увеличении степени дробности разбиения. Речь идет об асимметрии “дерева объединений”, изображенного в легенде. Это “дерево” показывает особенности дифференциации территории Японии на группы префектур, различающиеся с точки зрения развития в них обрабатывающей промышленности. Бросается в глаза значительно большая “ветвистость” правой части “дерева”, соответствующей более развитым таксонам. Вплоть до пятого уровня новые таксоны выделяются из тех префектур, которые характеризуются наиболее высокоразвитой обрабатывающей промышленностью на данном уровне группировки. И лишь при более высокой степени дробления существенными становятся различия внутри групп с невысоким уровнем развития промышленности.

Это доказывает гораздо большую однородность слабо развитых в промышленном отношении районов, состоящих из “равных друг другу в своей бедности” префектур. С другой стороны, в промышленных районах четко прослеживаются различия в степени развития уже на низких уровнях классификации. Этот вывод легко проиллюстрировать, если представить наиболее развитые в промышленном отношении районы как горную страну, а наименее развитые — как низменность: в первом случае у всех точек высокие значения абсолютных высот, но при этом местность характеризуется большим перепадом относительных высот; во втором случае преобладают низкие значения абсолютных высот и отсутствие какой-либо резкой расчлененности по относительным высотам.

Естественно, не стремясь абсолютизировать сделанный вывод, попытаемся все же предположить, что развитие и усложнение экономико-географических систем приводят к усилению количественной и качественной дифференциации элементов их структур. Это не означает повышения их разобщенности, дезинтеграции. Скорее наоборот, за счет повышения разнородности элементов структур происходит усиление взаимосвязей их частей, возрастает степень агрегированности. Наглядным примером сказанному может служить характер развития городской агломерации, которая легко расчленяется на качественно различные функциональные зоны. Несмотря на такую “расчлененность”, система является весьма целостной именно благодаря высокой взаимосвязи и взаимозависимости функциональных зон. Именно с такой точки зрения, на наш взгляд, и следует рассматривать разнородность промышленной

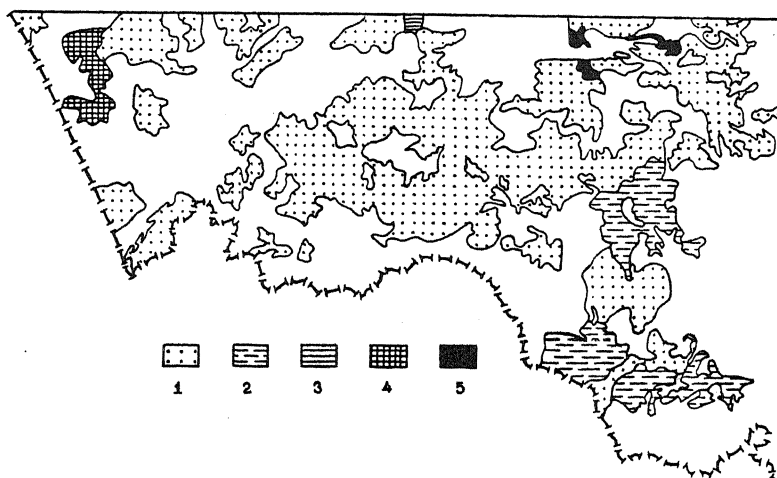


Рис. 87. Этапность отделения территориальных единиц (совхозов) от своих таксонов при увеличении их количества: 1 — территориальные единицы, остающиеся в своих таксонах при изменении их числа с 11 до 15; вновь появляющиеся таксоны при увеличении их количества: 2 — с 11 до 12; 3 — с 12 до 13; 4 — с 13 до 14; 5 — с 14 до 15

зоны Японии, которая находит отражение в асимметрии “дерева объединений”.

При картографировании различных аспектов оценки надежности моделирования возможно также отображать, на каком из этапов та или иная территориальная единица “уходит” из своего таксона, т.е. сколь крепко она связана со своим эталонным центром, а это в свою очередь выражает ее типичность для данного таксона. Этот прием позволяет обнаружить различного рода переходные зоны и т.д. В качестве примера такая карта, составленная по материалам типологии совхозов юга Алтайского края (Тикунов, 1985б), и приведена на рис. 87.

Таким образом, общая надежность моделирования прежде всего связана с качеством содержательно-географической постановки задачи, оптимальностью отбора исследуемых показателей и алгоритма для их обработки, тщательностью неформальной интерпретации результатов моделирования. На всех этапах исследования необходим постоянный учет географических особенностей изучаемого явления и характера его пространственного распределения. При подготовке к исследованию от этого зависят сама постановка задачи, требования к точности ее решения, выбор источников соответствующей детальности, применение технических средств создания карт. В ходе моделирования промежуточные результаты (математические зависимости, карты промежуточных стадий моделирования и др.) посто-

янно соотносятся с реальной действительностью для их дополнения и корректировки. Наконец, на этапе интерпретации географические особенности изучаемого объекта определяют общую оценку получаемых выводов и новых карт, принципы их содержательного истолкования, характер практических и методических рекомендаций. Техническая точность построения картографического изображения прямо не относится к рассматриваемому вопросу и нами не анализировалась, хотя в целом для картографии она существенна и важна.

VII.3. МНОГОВАРИАНТНОСТЬ МОДЕЛИРОВАНИЯ КАК СРЕДСТВО ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Многоаспектность исследований, улучшение информационного обеспечения, наличие широкого круга методов и привлечение современных вычислительных средств привели к необходимости многовариантных подходов при моделировании географических систем. Пути проявления многовариантности разнообразны и охватывают все стадии моделирования, начиная с анализа различных подходов при формулировке задачи и целей исследования, многообразия информационных описаний объектов, методов моделирования, разнообразных результатов реализации алгоритмов, способов их представления, что показано в статье (Тикунов, 1990б).

Так, например, на этапе информационного обеспечения возможно использование различных массивов данных для характеристики одного и того же явления. Особенно это важно для моделирования абстрактных синтетических характеристик, таких, как уровень социально-экономического развития стран и др. Возможно использование различных систем исходных показателей, обрабатываемых по одному алгоритму, с однотипным представлением результатов моделирования для того, чтобы надежность итоговых выводов зависела только от информационного обеспечения моделирования.

Другое проявление многовариантности может быть связано с возможностью обработки одного информационного массива по различным алгоритмам, что было показано в первом параграфе данной главы. В данном случае следует следить за тем, чтобы все алгоритмы правильно отображали сущность моделируемых явлений. Необходимо также учитывать точность получаемых результатов при использовании всех алгоритмов, которая должна быть примерно одинаковой, что важно для получения единого окончательного резуль-

тата. В противном случае к результатам придется относиться с различной степенью доверия, учитывать их с различным “весом”, хотя такая оценка сама по себе зачастую не проста и трудновыполнима. Параллельное использование ряда математических методов для получения одного окончательного варианта становится все популярнее, чему в немалой степени способствуют широкое распространение ЭВМ и совершенствование библиотек программ.

Многовариантность может быть связана с отображением результатов моделирования, зачастую в виде картографических изображений, хотя это, естественно, далеко не единственная форма. Язык карты столь богат и гибок, что, несмотря на многовековую историю его использования, до сегодняшнего дня появляются все новые разновидности отображения явлений на картах; процесс этот, несомненно, будет продолжаться. Определенный скачок в разработке новых способов изображения связан с автоматизацией воспроизведения картографических изображений. Технические средства позволили использовать такие способы, реализация которых вручную трудоемка или неэффективна, например бесступенчатые картограммы. Разнообразие способов представления результатов моделирования позволяет выбрать окончательный вариант, наилучшим образом передающий сущность явлений, наглядность изображений, целесообразность технологии воспроизведения и размножения карт. Здесь важна также форма представления окончательного результата в виде традиционных карт на бумаге, награвированных изображений на пластике, фотокопий, микрофильмов и т.д.

Многовариантность, проявляющаяся в возможностях параллельного использования информационных массивов, математических алгоритмов и способов отображения результатов моделирования, приводит к повышению надежности окончательного результата. Этот вывод можно сделать, опираясь на работу (Серапинас, 1983), где показано, что при двух независимых вариантах решения с надежностью каждого, например, 0,684 надежность окончательного результата повышается до 0,900. В этом случае вероятности получения надежных результатов определяются из формулы $P = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i)$, где P_i — вероятности того, что погрешности не превышают допустимых пределов в каждом варианте исследования (если считать погрешности независимыми) (Капур, Ламберсон, 1980), хотя с ростом числа вариантов замедляется рост надежности окончательного результата.

Цель данного параграфа — показать многообразие проявлений многовариантности при моделировании географических явлений,

что осуществлено нами на примере оценки уровней социально-экономического развития стран Азии, Африки, Латинской Америки и Океании. Выбор объекта для исследования определялся его сложностью и неоднозначностью понимания различными исследователями.

На первом этапе следует с логических позиций определить класс решаемой задачи, что в последующем повлечет выбор алгоритмов, способов представления результатов и т.д. Так, определение уровней развития стран является классификационной задачей. Однако группа этих задач очень широка. Сюда, даже если рассматривать только путь математической формализации процедур классификации, можно отнести такие разновидности: когда математические модели строятся без учета пространственного координирования явлений и результаты их реализации не подлежат картографированию; когда результаты картографируются, но пространственный аспект не учитывается на этапе реализации математических алгоритмов и, наконец, когда без учета пространственного положения явлений невозможно реализовать математические расчеты (Тикунов, 1986б).

Пример классификации первого вида — классификация производственных связей промышленных предприятий и т.д. При моделировании явлений, когда данные об их пространственном положении не учитываются, бывает полезно полученные результаты наносить на карту, что придает им пространственную определенность. Это зачастую дает дополнительные преимущества перед другими формами представления результатов моделирования, например в виде таблиц. В пределах данной разновидности классификации часто встречаются типологические и оценочные группировки (см. параграф II.2). В конкретных исследованиях такое разделение, как правило, учитывается и применяются различные математические алгоритмы (Липец, 1981; Смирнягин, Тикунов, Фетисов, 1982; и др.), но иногда эти понятия смешиваются (Типология..., 1976; Hill, 1981; и др.). Хотя заметим, что типологические и оценочные характеристики могут совмещаться: например, на карте типов хозяйственных структур стран мира может быть дополнительно показана их оценка по уровню экономического развития.

Обе разновидности моделей можно отнести к разряду моделей агрегации территориальных единиц (дифференциации изучаемой территории) по комплексу показателей. Заметим, что процессы объединения (агрегации) территориальных единиц в классы (пусть от частного к общему) или членения исследуемой территории на так-

соны (путь от общего к частному) зачастую приводят к результату одного типа. Однако данные модели следует отличать от моделей, пригодных для формализации процедур районирования. Так, при районировании территории в отличие от агрегации (дифференциации) уже недостаточно простых формальных критериев близости комплексов показателей у территориальных единиц для их объединения в районы. Районы выделяют по принципу несхожести между собой, они должны быть пространственно нерасчлененными, иногда ставится условие наличия ядра районообразования, районообразующих связей и др. В некоторых случаях от результатов оценочных или типологических классификаций переходят к районированию.

Если типология, оценка или районирование осуществляются с привлечением пространственных координат на этапе реализации математических алгоритмов, то мы переходим к третьей разновидности моделей классификации. Районирование до последнего времени, как правило, осуществляется вручную, на уровне логических обобщений, формализовать весь комплекс которых непросто, но отдельные требования при “машинном” районировании выполняются. Так, достаточно давно формализовано выполнение условия выделения территориально нерасчлененных районов с использованием известных матриц соседства. Видимо, специалисты придут к необходимости разработки экспертных систем для районирования территории. Здесь же следует отметить перспективность разработок методов “пространственной статистики” (Василевский, Полян, 1977; Griffith, 1987), учитывая первостепенную значимость для географии и картографии учета пространственных аспектов и непригодность для этих целей математической статистики. Видимо, следует расширить область исследования по разработке методов пространственной математики и еще шире — пространственного моделирования или, учитывая пространственно-временной характер географических явлений, пространственно-временного моделирования.

Наша задача по оценке уровней социально-экономического развития стран требует обоснования совокупности показателей, описывающих абстрактное понятие уровня, характеризуемого разными исследователями неоднозначно, хотя никто не отрицает объективности существования различий между странами. Задача состоит в том, чтобы правильно описать эти различия системой признаков-индикаторов. Анализ литературы показывает, что количество признаков-индикаторов исчисляется десятками (Математические..., 1973; Ти-

пология..., 1976; и др.), а их набор нестабилен и имеет тенденцию к расширению.

Для нашего эксперимента были заимствованы три доступных нам набора показателей, определяющих уровни социально-экономического развития стран. Первый набор состоял из 28 показателей и характеризовал 88 стран. Он был подготовлен для эксперимента (Тикунов, 1982) на основе статистического материала, опубликованного в статье (Grienig, 1978). Второй набор — из 30 показателей по 80 странам — охарактеризован в работе (Смирнягин, Тикунов, Фетисов, 1982), и, наконец, третий набор подготовлен студенткой кафедры картографии географического факультета МГУ Е.Н. Мироновой под руководством Л.В. Смирнягина, А.С. Фетисова и автора. Неопубликованный список 38 показателей по 87 странам включает: 1) годовой прирост населения (%); 2) коэффициент рождаемости на 1000 жителей; 3) коэффициент смертности на 1000 жителей; 4) долю городского населения (%); 5) долю самодеятельного населения в его численности; 6) долю самодеятельного населения в сельском хозяйстве; 7) размер валового национального продукта (ВНП) в расчете на душу населения (долл.); 8) ВНП в расчете на одного занятого (долл.); 9) долю сельскохозяйственной продукции в ВНП; 10) долю промышленной продукции в ВНП; 11) долю продукции обрабатывающей промышленности в ВНП; 12) долю добывающей промышленности в ВНП; 13) долю строительства в ВНП; 14) долю оптовой и розничной торговли в ВНП; 15) долю транспорта и связи в ВНП; 16) производство электроэнергии на душу населения (тыс. кВт); 17) общее потребление энергии на душу населения (млн метрич. т углевого эквивалента); 18) рост потребления энергии 1970–1980 гг. (%); 19) потребление жидкого топлива (% от общего потребления энергии); 20) экспорт на душу населения (долл.); 21) отношение стоимости экспорта к ВНП (%); 22) импорт на душу населения (долл.); 23) долю промышленной продукции в экспорте; 24) долю химической продукции в экспорте; 25) долю машин и оборудования в экспорте; 26) долю топлива в экспорте; 27) долю пищевых продуктов в экспорте; 28) долю продукции сельского хозяйства в экспорте; 29) число экспортируемых товаров, составляющих более 0,3% от всего экспорта страны; 30) диверсификационный индекс; 31) среднегодовой рост производства продуктов питания (1970–1980); 32) среднюю продолжительность жизни; 33) уровень неграмотности (%); 34) количество учащихся высших учебных заведений (% от численности населения); 35) общественные затраты на образование от общих затрат (%); 36) количество жителей на

одну больничную койку; 37) количество жителей на одного терапевта; 38) общественные затраты на здравоохранение (%).

Чтобы иметь возможность сравнивать наборы данных, в них были оставлены только те страны, которые встречаются во всех трех массивах. Количество анализируемых в дальнейшем стран сократилось до 79. Попытка из трех имеющихся наборов данных выбрать лучший не увенчалась успехом. Опрос специалистов по теме исследования показал, что ни один из массивов не был признан наилучшим всеми опрошенными; поэтому в дальнейшем эксперименте нами использовались все три набора как равноправные. Такое использование различных массивов данных для характеристики уровней развития стран — одно из проявлений многовариантности. Кроме того, оно показывает несовершенство публикуемой статистики, неточность и условность ряда характеристик и т.д.

С целью ранжирования стран по уровню социально-экономического развития на основании каждого из трех массивов данных нами использовался оценочный алгоритм, описанный в параграфе II.2. Прежде всего показатели нормировались по формуле (2.30). Здесь лишь следует пояснить, что же считать наилучшими оценочными значениями (\hat{x}) по каждому показателю? Нами в качестве таких значений использовались соответствующие значения по каждому показателю, определяемые из логических соображений. В качестве второго варианта для (\hat{x}) использовались показатели Аргентины, которую специалисты единодушно выделили как наиболее высокоразвитую из рассматриваемой совокупности стран, чтоб кста-ти, в дальнейшем будет подтверждено расчетным путем. Наконец, в третьем случае нами использовались соответствующие значения для США. При наличии обоснованных “весов” каждого показателя их также можно ввести в формулу нормировки (Тикунов, 1978, 1985б).

Непосредственно ранжирование стран основывается на вычислении одной из мер близости стран по комплексу показателей по отношению к условной или реальной стране, комплекс показателей у которой является вектором \hat{x} (см. формулу (2.30)). В качестве меры близости нами использовалось известное обобщенное евклидово расстояние (2.25), давшее в нашем случае лучшие результаты по сравнению с другими критериями (Розин, 1973; Коган, Белов, Родионов, 1983; Johnson, Wichern, 1982; и др.). Полученный вектор евклидовых расстояний (d^e) показывает степень отличия всех стран от страны с комплексом показателей, равным \hat{x} . Поскольку в качестве \hat{x} нами использовались характеристики условной страны с наилучшими показателями или значения Аргентины и США, то в ре-

зультате для каждого из трех наборов данных получено по три варианта ранжировки стран, т.е. всего девять вариантов. Анализ всех ранжировок показал, что лучшие результаты получаются при использовании в качестве \hat{x} значений США, и в дальнейшем расчеты производились только с оставшимися тремя соответствующими ранжировками. Заметим, что возможны и другие пути получения вектора d° , например используя величины S_j (см. формулу (2.32)) и т.д.

На этапе вычисления евклидовых расстояний возможно введение “весов” — обратных коэффициентам вариации рядов исходных показателей, что делает их равнозначными в процессе группировки (Тикуннов, 1985б). Достигается это применением формулы

$$\tilde{x}_{ij} = \hat{x}_{ij} \frac{\bar{x}_j}{100 \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}}, \quad \begin{matrix} i = 1, 2, 3, \dots, n, \\ j = 1, 2, 3, \dots, m, \end{matrix} \quad (7.6)$$

где \hat{x}_{ij} — нормированные по формуле (2.30) исходные показатели; \bar{x}_j — их среднеарифметические значения. Заметим, что после такой нормировки значения показателей можно дополнительно “взвешивать” в зависимости от значимости каждого из них, если такие “веса” удастся каким-либо образом определить, например, по оценкам экспертов.

Применение такого “взвешивания” улучшает ранжировку стран, что оценивалось экспертным путем. Приведем три ранжировки стран на основе трех информационных массивов в виде списков, что позволяет сравнивать их между собой

1. Аргентина (0,00)	1. Аргентина (0,00)	1. Аргентина (0,00)
2. Уругвай (0,07)	2. Уругвай (0,04)	2. Сингапур (0,02)
3. Сингапур (0,14)	3. Сингапур (0,04)	3. Уругвай (0,09)
4. Тринидад и Тобаго (0,20)	4. Тринидад и Тобаго (0,17)	4. Южная Корея (0,12)
5. Чили (0,21)	5. Кувейт (0,19)	5. Бразилия (0,15)
6. Кувейт (0,26)	6. Чили (0,20)	6. Тринидад и Тобаго (0,15)
7. Венесуэла (0,29)	7. Венесуэла (0,23)	7. Чили (0,20)
8. Ямайка (0,33)	8. Мексика (0,23)	8. Ливан (0,20)
9. Ливан (0,35)	9. Ливан (0,24)	9. Колумбия (0,20)
10. Панама (0,36)	10. Ямайка (0,24)	10. Мексика (0,21)
11. Мексика (0,36)	11. Южная Корея (0,25)	11. Коста-Рика (0,21)
12. Коста-Рика (0,37)	12. Бразилия (0,31)	12. Венесуэла (0,25)
13. Бразилия (0,37)	13. Коста-Рика (0,33)	13. Ямайка (0,25)
14. Южная Корея (0,37)	14. Иран (0,34)	14. Перу (0,27)
15. Ливия (0,45)	15. Парагвай (0,37)	15. Панама (0,30)

- | | | |
|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 16. Турция (0,47) | 16. Колумбия (0,37) | 16. Турция (0,33) |
| 17. Колумбия (0,47) | 17. Панама (0,37) | 17. Филиппины (0,34) |
| 18. Перу (0,48) | 18. Ливия (0,38) | 18. Тунис (0,35) |
| 19. Парагвай (0,51) | 19. Турция (0,38) | 19. Шри-Ланка (0,35) |
| 20. Египет (0,52) | 20. Перу (0,41) | 20. Сальвадор (0,37) |
| 21. Никарагуа (0,52) | 21. Тунис (0,43) | 21. Таиланд (0,38) |
| 22. Сирия (0,53) | 22. Египет (0,43) | 22. Эквадор (0,39) |
| 23. Тунис (0,53) | 23. Никарагуа (0,43) | 23. Кувейт (0,42) |
| 24. Иран (0,54) | 24. Сирия (0,47) | 24. Сирия (0,42) |
| 25. Шри-Ланка (0,55) | 25. Сальвадор (0,51) | 25. Египет (0,42) |
| 26. Иордания (0,55) | 26. Эквадор (0,51) | 26. Индия (0,44) |
| 27. Доминиканская Республика (0,55) | 27. Филиппины (0,51) | 27. Иордания (0,47) |
| 28. Эквадор (0,57) | 28. Доминиканская Республика (0,52) | 28. Доминиканская Республика (0,48) |
| 29. Сальвадор (0,60) | 29. Шри-Ланка (0,52) | 29. Парагвай (0,48) |
| 30. Ирак (0,61) | 30. Алжир (0,53) | 30. Индонезия (0,50) |
| 31. Филиппины (0,62) | 31. Марокко (0,53) | 31. Никарагуа (0,50) |
| 32. Алжир (0,62) | 32. Ирак (0,54) | 32. Иран (0,50) |
| 33. Саудовская Аравия (0,62) | 33. Иордания (0,57) | 33. Гватемала (0,51) |
| 34. Гватемала (0,64) | 34. Гватемала (0,57) | 34. Алжир (0,53) |
| 35. Гондурас (0,65) | 35. Таиланд (0,61) | 35. Пакистан (0,54) |
| 36. Боливия (0,66) | 36. Боливия (0,61) | 36. Марокко (0,54) |
| 37. Марокко (0,67) | 37. Гондурас (0,61) | 37. Гондурас (0,57) |
| 38. Таиланд (0,67) | 38. Саудовская Аравия (0,63) | 38. Ирак (0,61) |
| 39. Замбия (0,69) | 39. Пакистан (0,64) | 39. Бирма (0,61) |
| 40. Пакистан (0,69) | 40. Индонезия (0,69) | 40. Боливия (0,61) |
| 41. Кот-Дивуар (0,71) | 41. Замбия (0,70) | 41. Ливия (0,64) |
| 42. Гана (0,71) | 42. Конго (0,70) | 42. Конго (0,66) |
| 43. Конго (0,72) | 43. Кот-Дивуар (0,72) | 43. Саудовская Аравия (0,66) |
| 44. Либерия (0,74) | 44. Либерия (0,72) | 44. Гаити (0,67) |
| 45. Индия (0,74) | 45. Бирма (0,72) | 45. НДРЙ (0,67) |
| 46. Папуа-Новая Гвинея (0,75) | 46. Гана (0,73) | 46. Нигерия (0,68) |
| 47. Бирма (0,76) | 47. Заир (0,74) | 47. Камерун (0,68) |
| 48. Сенегал (0,76) | 48. Нигерия (0,74) | 48. Замбия (0,68) |
| 49. Ангола (0,77) | 49. Индия (0,74) | 49. Кения (0,69) |
| 50. Индонезия (0,77) | 50. Папуа-Новая Гвинея (0,75) | 50. Мозамбик (0,69) |
| 51. Мозамбик (0,77) | 51. НДРЙ (0,76) | 51. Танзания (0,72) |
| 52. Мадагаскар (0,78) | 52. Судан (0,76) | 52. Ангола (0,72) |
| 53. Кения (0,78) | 53. Сенегал (0,76) | 53. Заир (0,72) |
| 54. НДРЙ (0,78) | 54. Гаити (0,76) | 54. Мадагаскар (0,74) |
| 55. Заир (0,80) | 55. Камерун (0,77) | 55. Кот-Дивуар (0,74) |
| 56. Камерун (0,80) | 56. Кения (0,78) | 56. Либерия (0,76) |

57. Того (0,80)	57. Мадагаскар (0,79)	57. Гана (0,78)
58. Сьерра-Леоне (0,82)	58. Сьерра-Леоне (0,81)	58. Сенегал (0,79)
59. Судан (0,82)	59. Ангола (0,82)	59. Уганда (0,80)
60. Нигерия (0,83)	60. Уганда (0,83)	60. Того (0,80)
61. Уганда (0,83)	61. Бенин (0,84)	61. Бангладеш (0,80)
62. Бангладеш (0,85)	62. ЙАР (0,84)	62. Папуа-Новая Гвинея (0,81)
63. Афганистан (0,86)	63. Малави (0,84)	63. ЙАР (0,82)
64. Центральноеафриканская Республика (0,86)	64. Сомали (0,84)	64. Сьерра-Леоне (0,83)
65. Гаити (0,86)	65. Мозамбик (0,85)	65. Бенин (0,85)
66. Бенин (0,86)	66. Танзания (0,85)	66. Судан (0,86)
67. Малави (0,86)	67. Бурунди (0,86)	67. Центральноеафриканская Республика (0,87)
68. Танзания (0,87)	68. Центральноеафриканская Республика (0,86)	68. Афганистан (0,88)
69. Мавритания (0,88)	69. Непал (0,87)	69. Руанда (0,88)
70. Сомали (0,88)	70. Того (0,88)	70. Малави (0,89)
71. Непал (0,91)	71. Афганистан (0,88)	71. Чад (0,90)
72. Мали (0,91)	72. Мавритания (0,90)	72. Буркина-Фасо (0,92)
73. ЙАР (0,92)	73. Мали (0,91)	73. Мавритания (0,92)
74. Чад (0,92)	74. Руанда (0,91)	74. Сомали (0,93)
75. Бурунди (0,93)	75. Бангладеш (0,93)	75. Непал (0,94)
76. Нигер (0,95)	76. Эфиопия (0,96)	76. Мали (0,97)
77. Эфиопия (0,95)	77. Нигер (0,96)	77. Эфиопия (0,98)
78. Руанда (0,95)	78. Буркина-Фасо (0,97)	78. Нигер (0,99)
79. Буркина-Фасо (1,00)	79. Чад (1,00)	79. Бурунди (1,00)

В скобках показаны значения евклидовых расстояний (d°), на основе которых ранжировались страны, нормированные по формуле (2.34).

Поскольку нам не удалось однозначно определить, какая же из ранжировок более достоверна, было признано целесообразным признать их равноправными и объединить вместе. Для этих целей три характеристики d° рассматривались как исходные показатели стран, и информационный массив с параметрами $n = 79$ и $m = 3$ обрабатывался по вышеописанному алгоритму с целью получения одной результирующей ранжировки, которую приводим также в виде списка (разделение стран на группы различными линиями будет объяснено ниже).

1. Аргентина (0,00)	26. Филиппины (0,51)	52. Заир (0,78)
..... 1	27. Эквадор (0,51)	53. Гаити (0,79)
2. Уругвай (0,07)	28. Сальвадор (0,51)	54. Папуа-Новая Гвинея (0,79)
3. Сингапур (0,07)	- - - - - 2	

..... 1 ----- 2	29. Доминиканская Республика (0,53)	55. Мадагаскар (0,79)
4. Тринидад и Тобаго (0,18)	30. Иордания (0,55)	56. Ангола (0,79)
5. Чили (0,20)	31. Таиланд (0,58)	57. Мозамбик (0,79)
..... 1 ----- 3	32. Алжир (0,58)	58. Сенегал (0,80)
6. Южная Корея (0,26)	33. Гватемала (0,59)	59. Судан (0,84)
7. Венесуэла (0,26)	34. Марокко (0,60)	60. Танзания (0,84)
8. Ливан (0,27)	35. Ирак (0,60)	61. Сьерра-Леоне (0,85)
9. Мексика (0,28)	----- 3	62. Уганда (0,85)
10. Бразилия (0,28)	36. Гондурас (0,63)	63. Того (0,85)
11. Ямайка (0,29)	37. Боливия (0,65)	64. Бенин (0,88)
12. Кувейт (0,29)	38. Пакистан (0,65)	65. Центральноафриканская Республика (0,89)
13. Коста-Рика (0,31)	39. Саудовская Аравия (0,65)	66. Бангладеш (0,89)
..... 1 ----- 2	40. Индия (0,67)	67. ЙАР (0,89)
14. Панама (0,36)	41. Индонезия (0,68)	68. Малави (0,89)
15. Колумбия (0,37)	----- 2	69. Афганистан (0,90)
16. Перу (0,40)	42. Замбия (0,71)	70. Сомали (0,91)
17. Турция (0,41)	43. Конго (0,72)	71. Мавритания (0,93)
..... 1 ----- 3	44. Бирма (0,72)	72. Непал (0,94)
18. Тунис (0,45)	45. Кот-Дивуар (0,74)	73. Руанда (0,95)
19. Парагвай (0,47)	46. Либерия (0,76)	74. Бурунди (0,96)
20. Иран (0,47)	47. Гана (0,76)	75. Мали (0,96)
21. Египет (0,48)	48. НДРЙ (0,76)	76. Чад (0,97)
22. Сирия (0,49)	49. Кения (0,78)	77. Эфиопия (0,99)
23. Шри-Ланка (0,49)	50. Нигерия (0,78)	78. Буркина-Фассо (0,99)
24. Никарагуа (0,50)	51. Камерун (0,78)	79. Нигер (1,00)
25. Ливия (0,50)		

Для данной ранжировки в качестве значений x_j^* брались величины, равные нулю, что соответствует наилучшим характеристикам. Разделение стран на группы, показанное различными линиями, осуществлялось на основе трех алгоритмов, описанных в параграфе II.2. Первый способ ориентирован на разделение значений d^* на группы по принципу выявления наибольших разрывов в ранжированном ряду и тем самым расчленение стран на однородные группы по уровню социально-экономического развития. Второй способ классификации стран основан на последовательном осреднении характеристик объединяемых вместе стран, а третий учитывает не только величины разрывов в ранжированном ряду, но и количество объединяемых вместе стран, чтобы сделать их распределение по группам более равномерным (см. параграф II.2).

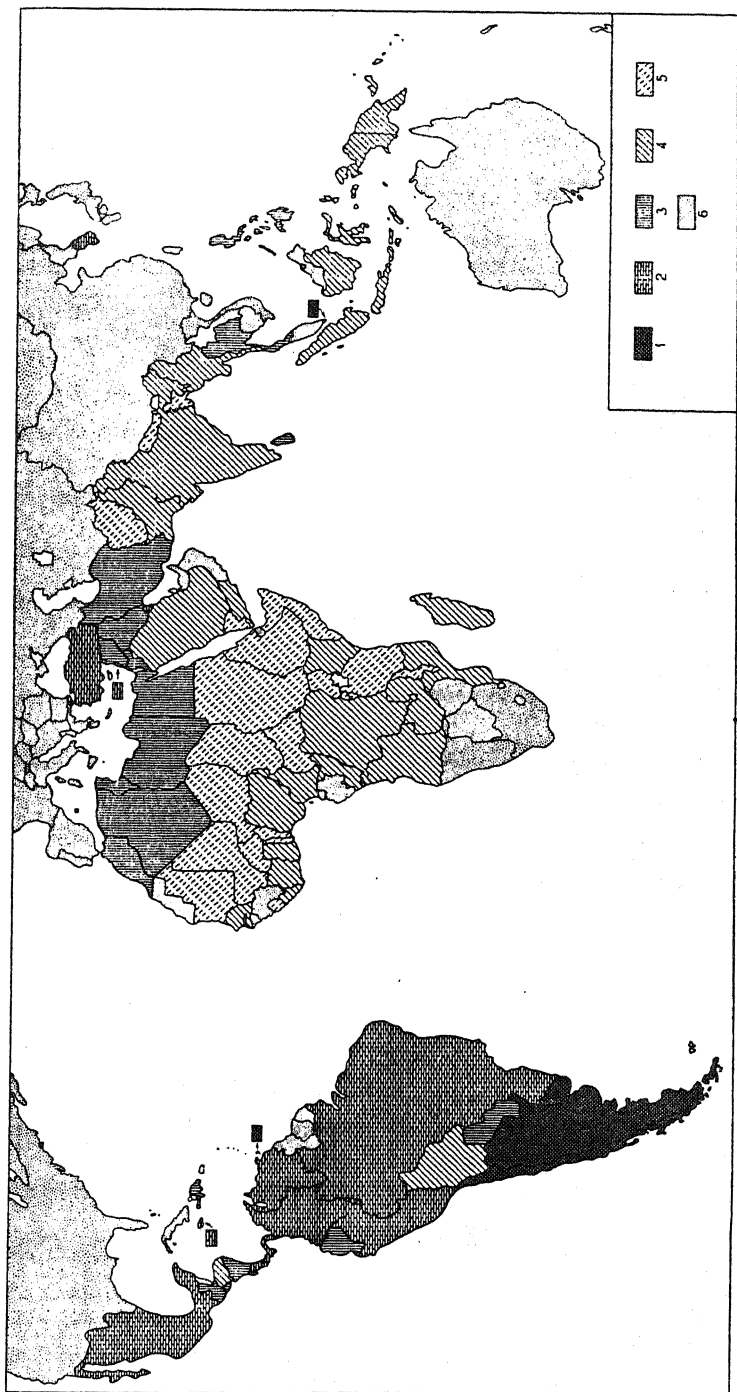


Рис. 88. Уровни социально-экономического развития стран (традиционная методика): 1 — самый высокий, 2 — высокий, 3 — средний, 4 — пониженный, 5 — низкий, 6 — страны, не включенные в анализ

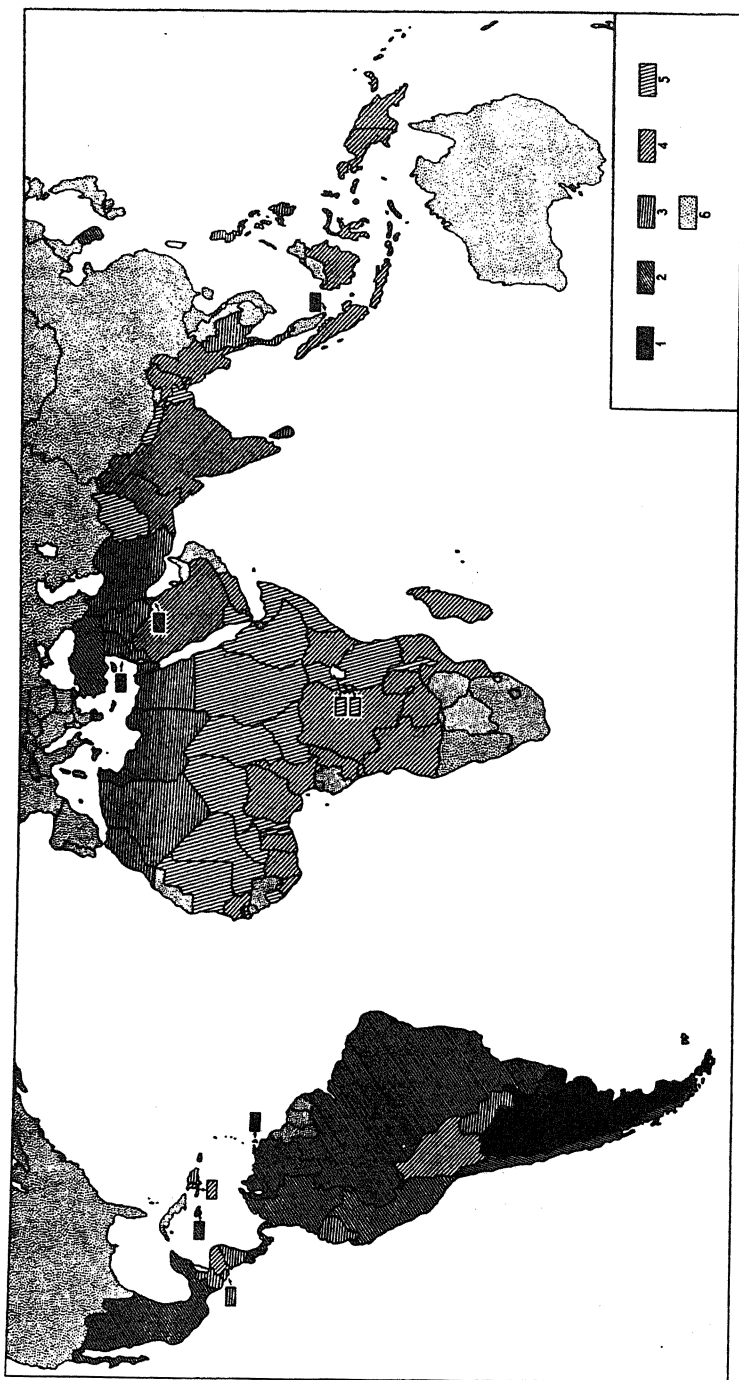


Рис. 89. Уровни социально-экономического развития стран: 1 — самый высокий, 2 — высокий, 3 — средний, 4 — пониженный, 5 — низкий, 6 — страны, не включенные в анализ. Отстояния штриховок соответствуют величинам уровней развития

Все три способа многовариантны. Они позволяют разделить страны на различное количество групп, варьиравшее в нашем эксперименте от 15 до 2, и с помощью коэффициентов неоднородности определять оптимальное со статистической точки зрения число групп. При использовании первого и второго способов количество групп стран оказалось равным 6, а третьего способа — 5, что и показано в вышеприведенном списке стран. Границы групп, выделенные при использовании третьего способа, отмечены сплошными линиями, для второго способа применены пунктирные линии, для первого — точки. Анализ группировок позволил сделать вывод о предпочтительности подразделения стран на пять групп, поэтому именно этот вариант использовался для последующего картографического представления результатов многовариантного моделирования.

На этапе картографического представления результатов также возможна многовариантность. Так, окончательный результат классификации стран показан нами тремя способами. Первый способ традиционный, когда группы стран показаны различными штриховками, интенсивность которых передает качественные характеристики изменения уровня социально-экономического развития (рис. 88). Второй способ бесступенчатых характеристик — ранее широко использовавшийся нами в книге (Тикуннов, 1985б). В этом случае отстояние штриховок для каждой страны отражает величину d° , а ориентация штриховок зависит от средних для группы величин d° . В нашем примере вертикальные штриховки соответствовали величинам d° для наиболее и наименее развитых стран — Аргентины и Нигера (рис. 89). В легенде карты отстояние штриховок и их ориентация соответствуют средним значениям для групп. Чтобы стандартизировать отстояния штриховок, величины d° нормировались по формуле

$$\hat{d}_i^\circ = \frac{d_i^\circ - \min d^\circ}{\max d^\circ - \min d^\circ} + \text{eps}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n, \quad (7.7)$$

где eps — минимальное расстояние между штрихами. Третий способ базируется на показе ориентации и отстояния штриховок в зависимости от величин d° индивидуально для каждой страны, а группы стран выделяются видом штриховки (рис. 90). Естественно, можно предложить и другие способы картографирования или использовать вместо d° величины S_i (см. формулу (2.32)) и т.д. На наш взгляд, общие закономерности удобно анализировать по карте, изображенной на рис. 88, а индивидуальные особенности стран — на рис. 89 и 90.

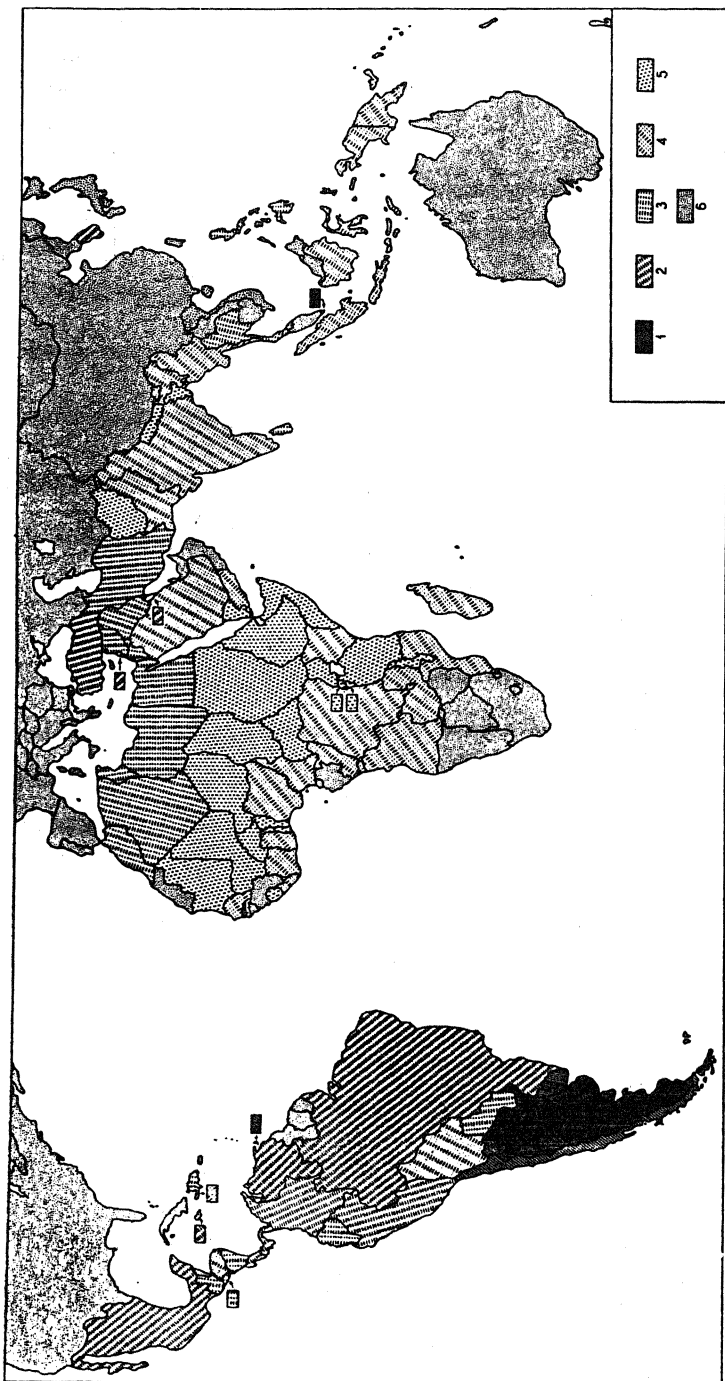


Рис. 90. Уровни социально-экономического развития стран: 1 — самый высокий, 2 — высокий, 3 — средний, 4 — пониженный, 5 — низкий, 6 — страны, не включенные в анализ. Отстояния и ориентации штриховок соответствуют величинам уровней развития

Проведенный эксперимент показал возможность проявления многовариантности на постановочном этапе исследования, при выборе информационных массивов, методов их обработки и представления результатов. Многовариантность может проявляться и при анализе результатов. Звенья в многовариантном моделировании могут видоизменяться, в частности в области выбора одного пути из нескольких возможных или осреднения, в том числе и картографических результатов, как это показано в предыдущем параграфе. Многовариантное моделирование хорошо реализуется в диалоговом режиме, когда исследователь получает различные промежуточные варианты, оценивает их, корректирует процесс моделирования и т.д.

VII.4. ПРОБЛЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ И КАРТОГРАФИРОВАНИЯ НЕЧЕТКИХ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В географической литературе неоднократно упоминалось о целесообразности применения классификаций географических комплексов с использованием методов теории нечетких (размытых) множеств. Эта теория, предложенная Л.А. Заде (Zaden, 1965) и развитая в ряде работ (Балкаров, 1987; Pipkin, 1978; Rolland-May, 1984, 1987; Yee Leung, 1985; Zhao Rui, Liu Zhengdong, 1985; и др.), предполагает возможность не только однозначно относить территориальные единицы к одному из классов, но и в случае переходного характера единиц одновременно к нескольким классам с различными функциями принадлежности.

Такая классификация целесообразна, когда границы между классами в действительности имеют нечеткий, переходный характер, это же должно учитываться при математическом моделировании и соответствующим образом показываться на картах. Размытость границ иногда рассматривается как их общее свойство. Например, А.М. Трофимов и Н.М. Солодухо пишут: “Исходя из принципа комплексности взаимодействия в пространстве частей различной природы в принципе можно считать, что размытость границы — это ее естественное состояние, тогда как границы ясной и четкой линейной или полосной выраженности представляют собой лишь частный случай проявления граничности геосистем” (1986, с. 24). Этому же мнения придерживается К. Роллан-Мэ (Rolland-May, 1987). Не вдаваясь в рассмотрение географических границ, многовариантность изучения которых показана в работах (Боков, 1977; Куприянова, 1977; Шувалов, 1980; Географические..., 1982; Салищев, 1983; и др.), мы поставили зада-

чу показать некоторые подходы к классификации нечетких географических систем и их картографического отображения.

На наш взгляд, представление о нечеткости (размытости) географических систем может быть связано с рядом пунктов (которые тесно перекликаются с аналогичными пунктами, охарактеризованными в параграфе о многовариантности моделирования): 1) при их описании в процессе постановки задач и целей классификации; 2) при выборе систем показателей, их характеризующих; 3) при подборе алгоритмов классификации; 4) при выборе результатов многовариантной классификации; 5) при подборе способов представления конечного результата; 6) при оценке степени соответствия полученного результата поставленной цели и интерпретации полученных выводов. Ниже мы проиллюстрируем возможности разработанных автором методик для характеристики указанных этапов (Тикунов, 1989а).

В качестве объекта исследования была выбрана система внешне-торговых связей бывшего СССР с зарубежными странами Европы. Система связей может рассматриваться под различным углом зрения, и уже поэтому представленная цель — произвести классификацию внешне-торговых связей — является нечетко поставленной задачей, что часто встречается в географии. Например, можно, обратившись лишь к проблеме типологии, осуществлять ее в разных плоскостях, получая различные по смыслу результаты. Так, объемы экспорта-импорта между бывшим СССР и другими странами могут быть выражены в долях от общего их объема по группам товаров, известным из статистики внешней торговли (Внешняя..., 1961–1987). Эти данные представляют собой матрицу, строки которой соответствуют анализируемым странам, а столбцы — группам товаров. Также известно, что объемы экспорта-импорта иногда довольно значительно варьируют от года к году, и это требует использования описанных матриц за ряд лет, а в результате получается куб данных.

Классифицировать объекты на основе данных материалов можно несколькими путями: на основе матриц за каждый год отдельно, т.е. страны будут выступать в роли территориальных единиц, а группы товаров — показателей (в дальнейшем полученные по числу лет варианты могут быть сведены вместе); другой подход — суммируя стоимостные характеристики групп товаров вместе, представить их как характеристики на каждый год по всему временному периоду для каждой из стран; если же группы товаров оставить как показатели, а классифицируемыми единицами считать годы,

то в результате получим вариант временной периодизации в торговле и т.д.

Обратимся к конкретным материалам. Так, нами подготовлен описанный выше куб данных за 1960–1985 гг. об объемах экспорта и аналогичный куб по импорту по следующим товарным группам: 1) машины, оборудование и транспортные средства; 2) топливо и электроэнергия; 3) руды и концентраты, металлы и изделия из них; 4) химические продукты, удобрения и каучук; 5) строительные материалы; 6) лесоматериалы и целлюлозно-бумажные изделия; 7) текстильное сырье и полуфабрикаты; 8) пищевкусовые товары и сырье для их производства; 9) промышленные товары народного потребления. Поскольку ввоз топлива и электроэнергии в бывший СССР из европейских стран невелик, вторая группа товаров, применительно к импорту СССР, была исключена из рассмотрения. Чтобы перейти от стоимостных величин объемов экспорта-импорта каждой из 24 рассматриваемых стран, были вначале вычислены их доли в общем объеме соответственно экспорта или импорта СССР по каждой группе товаров.

Далее раздельно по каждому году на основе алгоритма типологии, описанного в гл. II, получен соответствующий вариант типологии стран, когда группы товаров выступали в роли показателей. При использовании данного многовариантного алгоритма количество группировок варьировало от 15 до 2 и для каждого года выбирался на основе коэффициентов неоднородности свой оптимальный со статистической точки зрения вариант, причем во всех случаях это оказалось 4-групповое разделение стран. Реализовался алгоритм в различных модификациях. Так, опробовались расчеты с различными нормировками и без нее, причем последние варианты оказались лучше интерпретируемыми. В качестве меры близости стран в многомерном признаковом пространстве использовались евклидовы расстояния и величины, равные $1 - r$, где r — коэффициенты корреляции. Лучшие результаты дало использование евклидовых расстояний, которые и использовались во всех последующих экспериментах.

По числу лет исследуемого временного периода (26) получается и соответствующее количество типологий. Если проанализировать все типологии, то можно выявить страны, которые постоянно группируются в один класс (таксон), другая часть стран переходит из группы в группу. Поэтому “стабильные” страны целесообразно считать сердцевиной таксонов и при картографировании соответствующим образом отделять от остальных стран, например, как это сде-

лано на рис. 97–99. Чтобы показать возможности нечеткости определения системы наборами показателей, даже при их моноструктурном характере*, можно провести расчет долей отдельных стран, во-первых, относительно общего объема экспорта или импорта СССР, как это было сказано ранее, во-вторых, относительно объема экспорта-импорта СССР лишь со странами Европы или, в-третьих, рассчитать доли экспорта (импорта) СССР в общем объеме торговых связей стран (в %) по каждой группе товаров, что сделано нами на основе данных статистического сборника (Yearbook..., 1979) и т.д. Типология на основе первого и второго способов представления данных по материалам на 1978 г. приводит к близким между собой результатам, а третий вариант отличается от них и легче интерпретируется, поэтому именно он приведен на рис. 91.

Что касается алгоритмов обработки, то и здесь методика расчетов не может быть определена однозначно. Один путь расчетов уже проиллюстрирован при получении типологии, изображенной на рис. 91. Данная классификация осуществлялась при условии гомогенности стран, объединяемых в таксоны, но можно дополнительно поставить условие максимальной гетерогенности ядер, вокруг которых формируются таксоны, что подчеркивает наиболее нетипичные по экспортно-импортным связям страны, и осуществить это можно на основе специально приспособленного для этих целей алгоритма (Тикуннов, 1978). Типология на основе данного метода, реализованного при использовании тех же исходных данных, что и для типологии, показанной на рис. 91, приведена на рис. 92.

В том случае, если заранее имеются сведения о принадлежности каких-либо стран к различным группам, возможна классификация “с учителем” (см. гл. II). Для этого, по нашей просьбе, специалист по географии внешней торговли Л.Б. Вардомский выбрал эталонные (с его точки зрения) страны, количество которых не ограничивалось. Этими странами оказались Чехословакия, Польша, Португалия, Великобритания и ФРГ как для экспорта, так и для импорта. Соответствующая классификация приводит к типологии, показанной на рис. 93.

Наиболее интересно для типологии нечетких систем использовать специальный алгоритм. Можно предложить следующую методику. Будем рассматривать каждый показатель по всему комплексу стран

* Нечеткость проявляется еще сильнее при полиструктурных наборах показателей, например характеристик уровней социально-экономического развития стран или их типов.

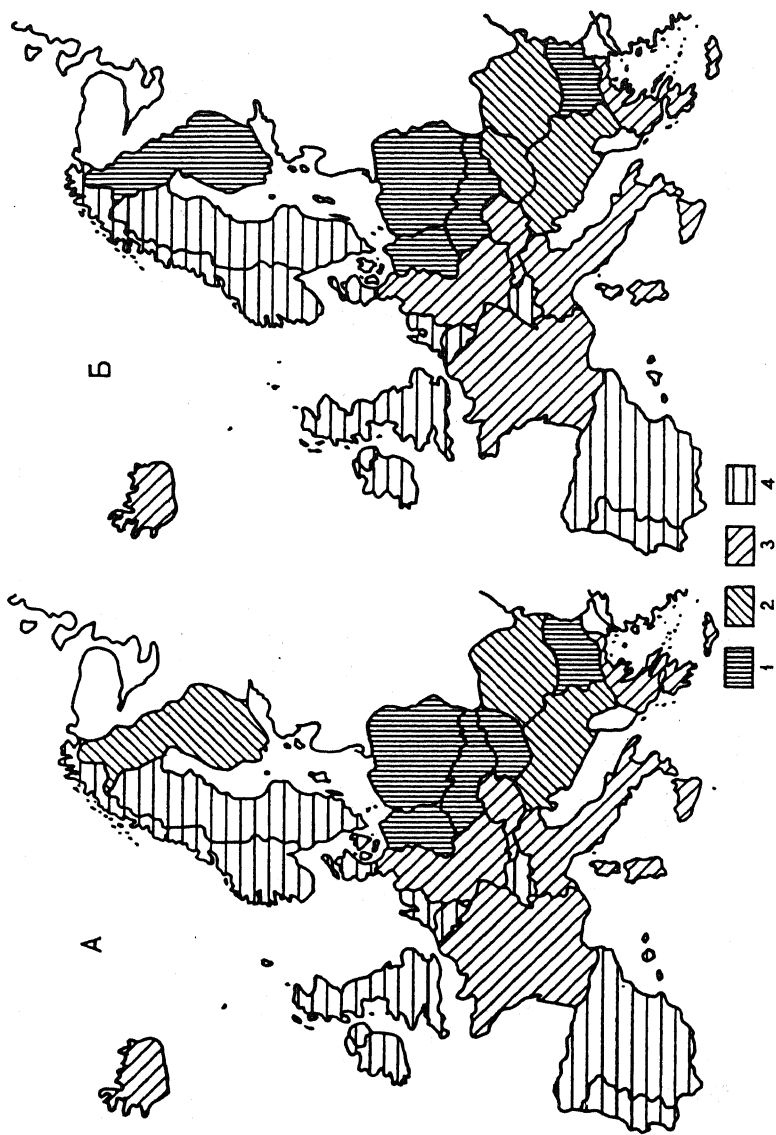


Рис. 91. Типы внешнеторговых связей стран Европы с СССР. А — экспорт СССР в страны Европы; Б — импорт СССР из стран Европы; 1—4 — группы стран, относящиеся к различным типам

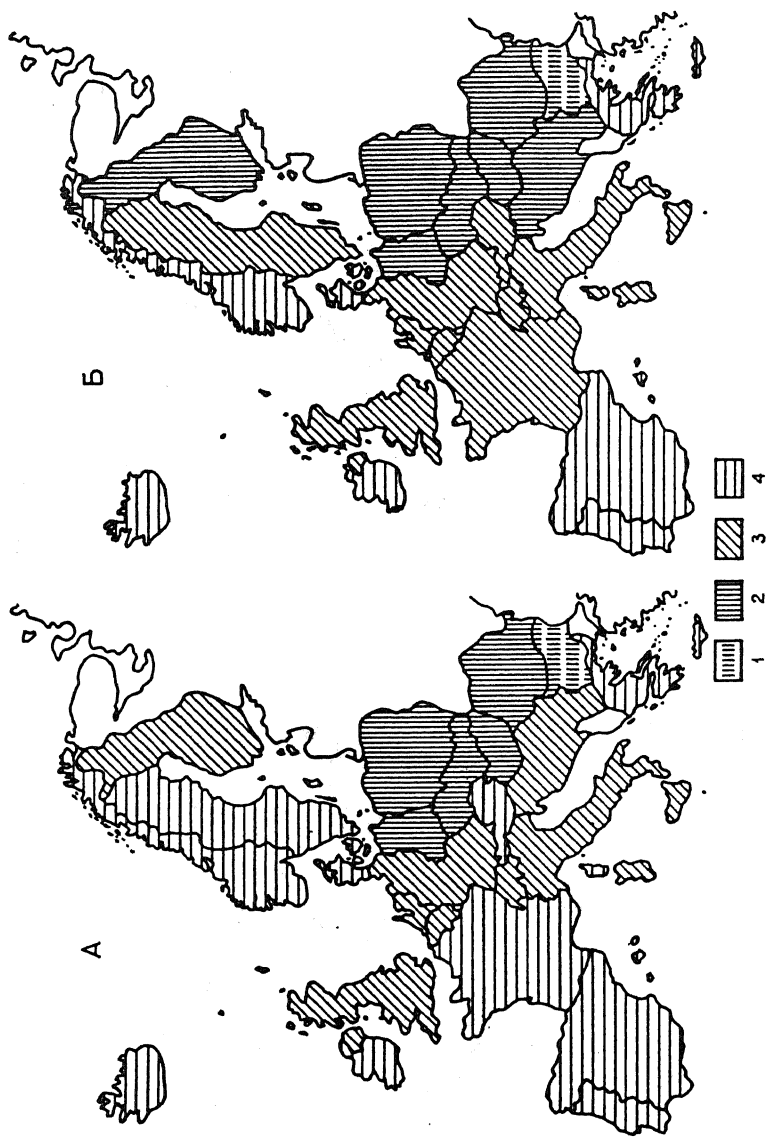


Рис. 92. Типы внешнеторговых связей стран Европы с СССР, определенные на основе алгоритма, формирующего таксоны вокруг максимально гетерогенных ядер. А, Б и 1-4 — подобны рис. 91

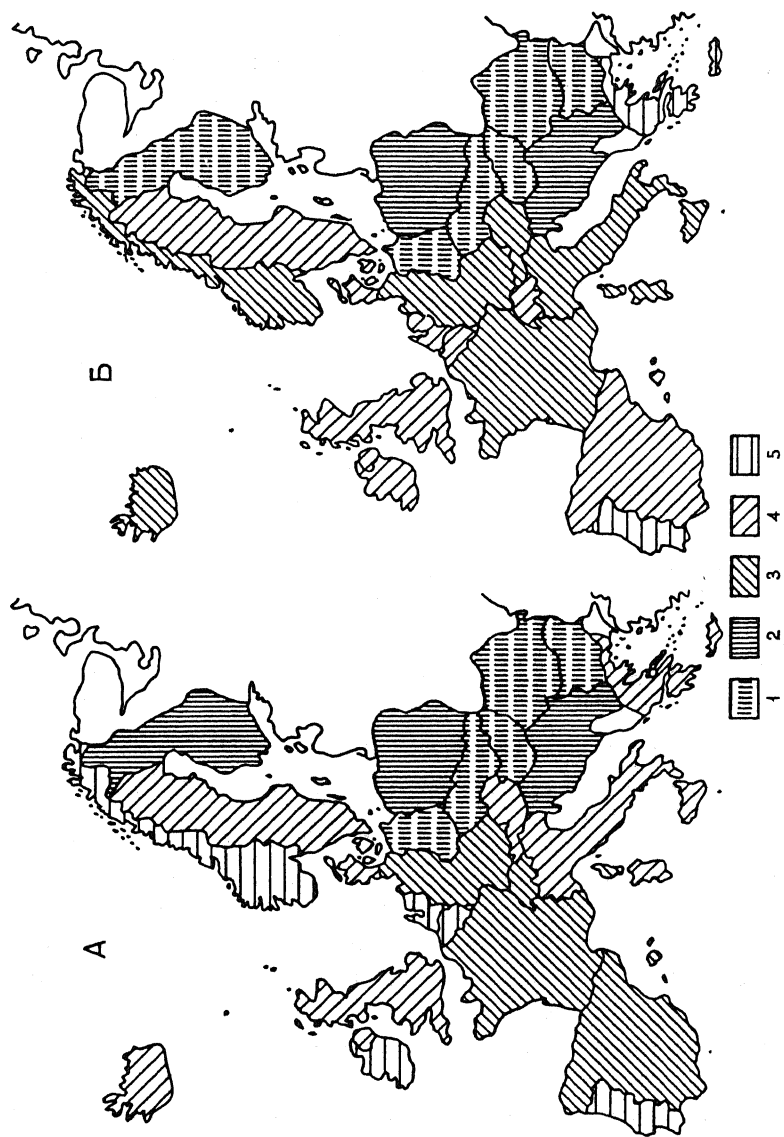


Рис. 93. Типы внешнеторговых связей стран Европы с СССР, определенные с использованием алгоритма классификации "с учителем".
 А, Б и 1-5 — подобны рис. 91

раздельно, т.е. анализировать 9 векторов-столбцов для экспорта и 8 — для импорта. Каждый такой ряд можно разделить на однородные ступени, например с помощью метода разбивки шкал на однородные ступени (Тикунов, 1980а). Таким образом, для экспорта получается 9 (импорта 8) вариантов деления стран на группы. Те страны, которые постоянно остаются в пределах одних и тех же групп по каждому показателю, рассматриваются как сердцевина этих групп, остальные же страны образуют нечеткое подмножество, причем в зависимости от количества переходов той или иной страны из группы в группу их можно трактовать как более или менее нечеткие. На рис. 94 типы стран отражены одинарными штриховками, а их соответствующее сочетание характеризует страны, переходные между типами.

Такие карты заостряют внимание на наличии некоторых показателей, контрастирующих с другими, например Болгария имела небольшие значения экспорта из бывшего СССР пищевкусовых товаров или Румыния — топлива и электроэнергии; из бывшей ГДР мал импорт руды и концентратов, металла и изделий из него, текстильного сырья, полуфабрикатов и т.д. Влияние этих показателей на результаты типологий, изображенных, например, на рис. 91 и 92, в столь явном виде не проявляется.

Создавая карту, показанную на рис. 94, мы уже обращаемся к необходимости выработки особых способов картографирования нечетких типологий, и в данном случае логика такова, что выделяют более плотной штриховкой прежде всего страны, имеющие нечеткий характер. Кстати, такое же представление результатов пригодно для сведения всех типологий за анализируемый временной период с 1960 по 1985 г. вместе, что позволяет устранить возможные флуктуации данных от года к году и выявить более стабильные закономерности. Динамику объемов экспорта-импорта также можно учесть, если сформировать матрицу исходных данных так, что для каждой страны роль показателей будут выполнять общие объемы экспорта (импорта) за весь временной ряд, и далее обрабатывать эту матрицу например по алгоритму типологии, описанному в гл. II. Соответствующий результат для такой типологии показан на рис. 95.

Однако заметим, что классифицируемые динамические ряды имеют тренд, элиминировать который можно различными путями (Дружинин, 1971; Жуковская, Мучник, 1976) и, в частности, путем вычитания последующих значений из предыдущих в динамических рядах. Типология на основе таких преобразованных данных имеет

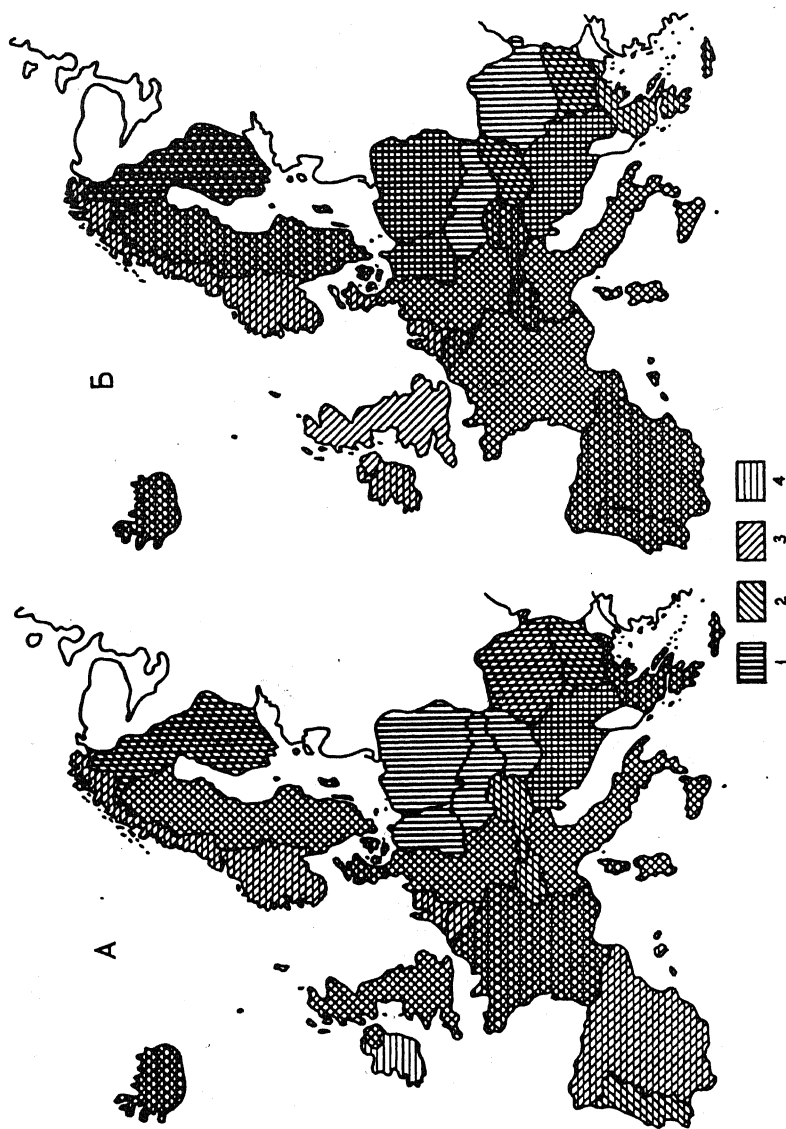


Рис. 94. Типы внешнеторговых связей стран Европы с СССР, определенные на основе поэлементной классификации стран по отдельным показателям. А, Б и 1-4 — подобны рис. 91

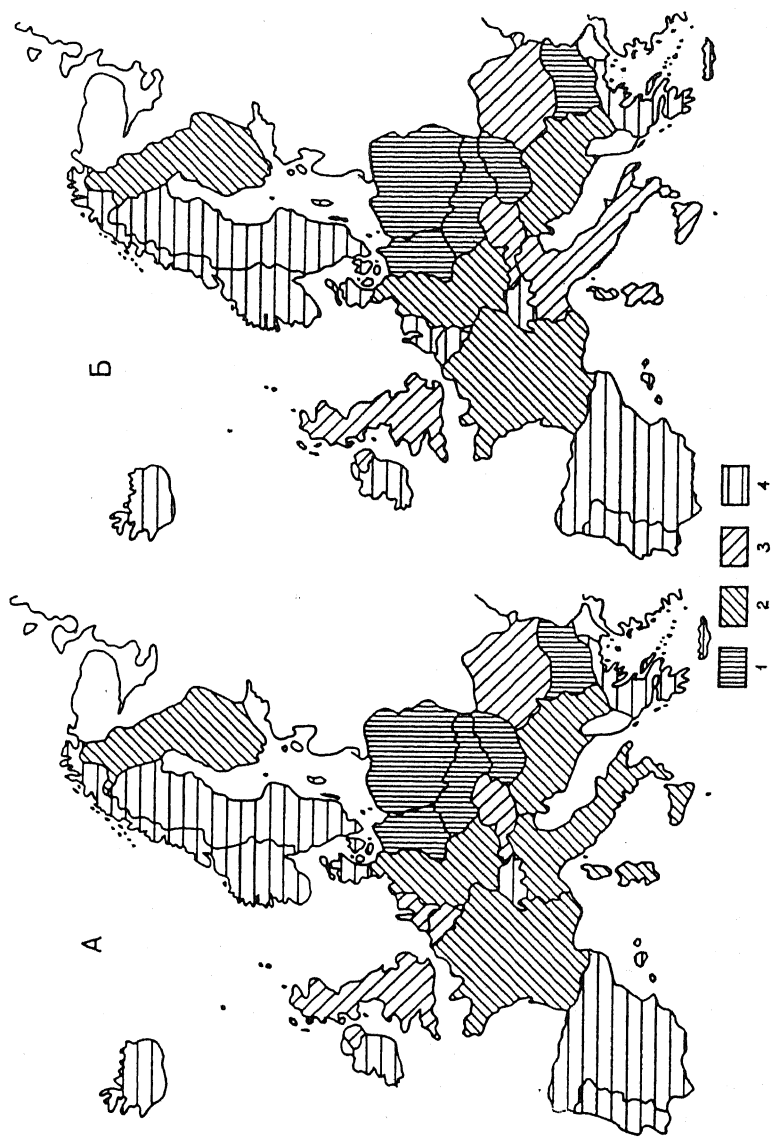


Рис. 96. Типы внешнеторговых связей стран Европы с СССР, определенные на основе данных за 1960–1985 гг. (с исключением тренда).
 А, Б и 1–4 — подобны рис. 91

несколько иной содержательный смысл и, естественно, отлична от предыдущей (рис. 96).

Проведенные классификации не исчерпывают всего их многообразия, например, возможно в качестве мер близости стран друг к другу по всему комплексу показателей, их характеризующих, вместо использованных нами евклидовых расстояний использовать непосредственные объемы экспортно-импортных связей между парами стран (Yearbook..., 1979) и т.д.

Получаемое разнообразие результатов позволяет задуматься над выбором наиболее подходящего из них для той или иной цели. Возьмем, например, типологии, представленные на рис. 95 и 96. В первом случае учитываются объемы экспорта (импорта), а во втором — величины их изменения (прироста или убыли) от года к году, но в обоих случаях можно найти примеры кажущейся нелогичности, например включение бывших социалистических стран в группу 3 (см. рис. 95, А) или отнесение Румынии к группе 4 (см. рис. 96, А) и т.д. Здесь мы подходим к необходимости более правильного представления результатов классификации в графической форме, для чего уже отображенные на рис. 96 результаты типологии покажем еще 3 способами, которые, в отличие от традиционной методики, на наш взгляд, лучше передают характер типологии.

Можно использовать способ бесступенчатого количественного фона. Поскольку при реализации использованных нами алгоритмов типологии всегда известны страны-ядра, вокруг которых формируются таксоны, то они полностью заливаются черным цветом, так как для них величины евклидовых расстояний (d_i) равны нулю, а чем больше другие страны будут отличаться от ядра их таксона (что также определяется величиной евклидовых расстояний), тем штриховка будет реже. Оформленная таким образом карта представлена на рис. 97.

Поскольку нас прежде всего могут заинтересовать страны, имеющие переходный характер, то для этого случая можно предложить следующий способ. Для всех стран можно подсчитать разность евклидовых расстояний до двух ближайших к ним стран-ядер. Чем меньше эта разность, тем более нетипичной для своего таксона будет эта страна. Если условиться, что отстояние штриховок будет пропорциональным этой разности, то наиболее плотно заштрихованными окажутся нечеткие части исследуемой совокупности стран и они в первую очередь будут привлекать внимание (рис. 98).

Наконец, третий способ графического оформления может, так же как и в первом способе, использовать бесступенчатые шкалы, но

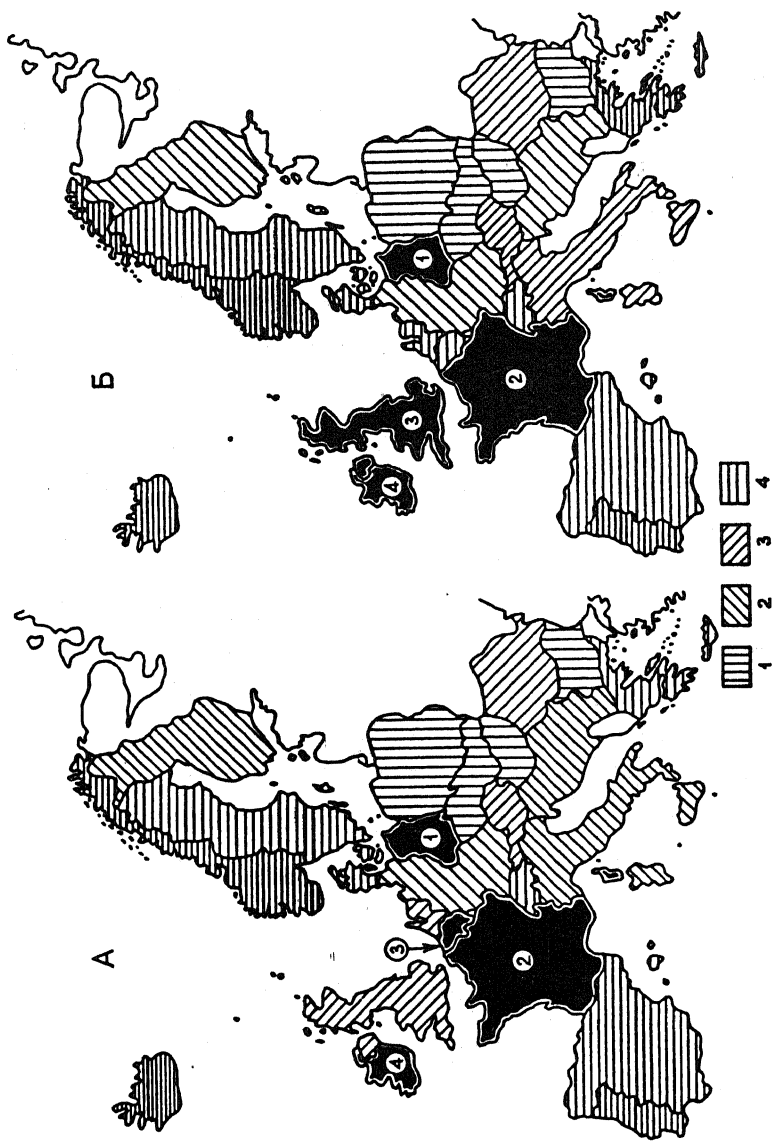


Рис. 97. Применение бесступенчатой шкалы для отображения типов внешнеэкономических связей стран Европы с СССР. Страны-ядра имеют сплошную заливку. А, Б и 1-4 — подобны рис. 91

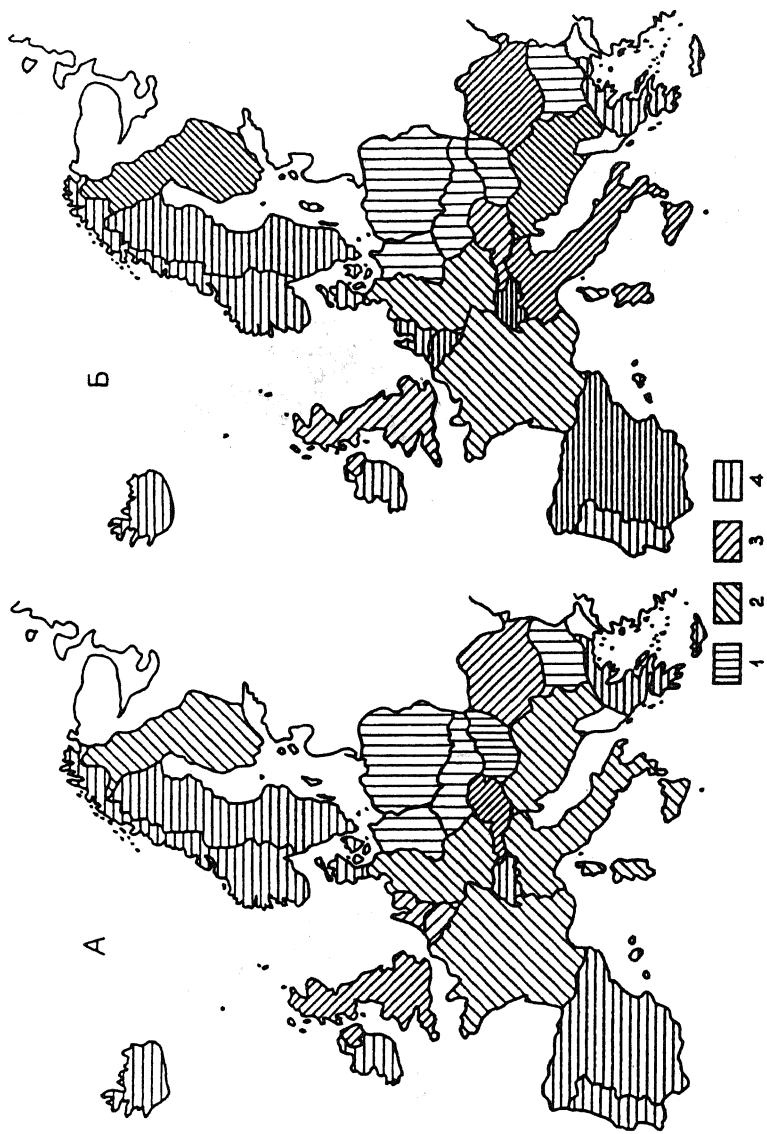


Рис. 98. Применение бесступенчатой шкалы для отображения разностей евклидовых расстояний до двух ближайших к странам ядер. А, Б и 1-4 — подобны рис. 91

сочетать разные штриховки от двух ближайших для каждой из стран ядер (рис. 99). Естественно меньшее отстояние штриховок соответствует отстоянию от ядра, к которому относилась страна при типологии (см. рис. 96). В тех случаях, если мы хотим стандартизировать отстояния штриховок, величины евклидовых расстояний (d_i) можно нормировать по формуле (7.7), где $\min d$ и $\max d$ — минимальные и максимальные значения евклидовых расстояний из всей совокупности (n) стран без учета стран-ядер.

В том случае, если в моделях вместо евклидовых расстояний использовать коэффициенты корреляции, то сердцевиной таксонов можно считать страны, имеющие величины коэффициентов с соответствующими ядрами, например более 0,7, а остальные считать размытыми. Нетипичность стран в пределах их таксонов можно показать в виде этапности отчленения стран от таксонов при многовариантных расчетах с поэтапно увеличивающимся количеством групп (Тикунов, 1985б, с. 235, 238).

Вполне естественно, что можно еще более разнообразить и информационное обеспечение и алгоритмы, и способы представления результатов, сообразуясь с многообразием задач географии международной торговли (Тореев, 1985; Nagy, 1979; Conkling, McConnell, 1981; Peschel, 1985; Amaga, 1986; McConnell, 1986). Наличие множества путей исследования позволяет подбирать их оптимальные варианты сообразно поставленным целям, а взгляд на географические системы как размытые (нечеткие) образования в ряде случаев приближает нас к более точному их представлению и познанию.

ГЛАВА VIII

АВТОМАТИЗАЦИЯ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ КАРТОГРАФИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Автоматизированное воспроизведение картографических изображений включает подбор систем картографических знаков, выбор методики их технического исполнения, непосредственное воспроизведение карт с помощью автоматических приборов и др., причем рассмотрение этих вопросов может быть весьма многогранным. Непосредственно вопросам автоматизации воспроизведения картографического изображения, в том числе с описанием аппаратного парка, посвящены целые книги или обширные главы (Построение..., 1973; Салищев, 1978; Жуков, Сербенюк, Тикунов, 1980; Сербенюк, Тикунов, 1984; Monmonier, 1982; Yoeli, 1982; Carter, 1984; и др.). Учитывая наличие большого объема специальной литературы и небольшой объем нашей книги, ограничимся лишь двумя примерами полностью автоматизированного создания карт с различными способами изображения и относящихся к аналитическим и синтетическим типам, а также рассмотрением вопроса картографической генерализации.

VIII.1. АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ СОЗДАНИЕ АНАЛИТИЧЕСКИХ КАРТ

Полностью автоматизированный процесс создания аналитических карт можно проиллюстрировать на примере создания карт углов наклона и экспозиции склонов (Коэ, Тикунов, Торп, 1981). Для автоматизированного создания данных карт нами разработаны и опробованы три алгоритма. В качестве исходного материала для их реализации используются гипсометрические карты. Для нашего эксперимента был взят небольшой известняковый участок местности размером 10 × 10 км вблизи г. Шеффилда (Великобритания). В качестве исходного материала использовалась топографическая карта

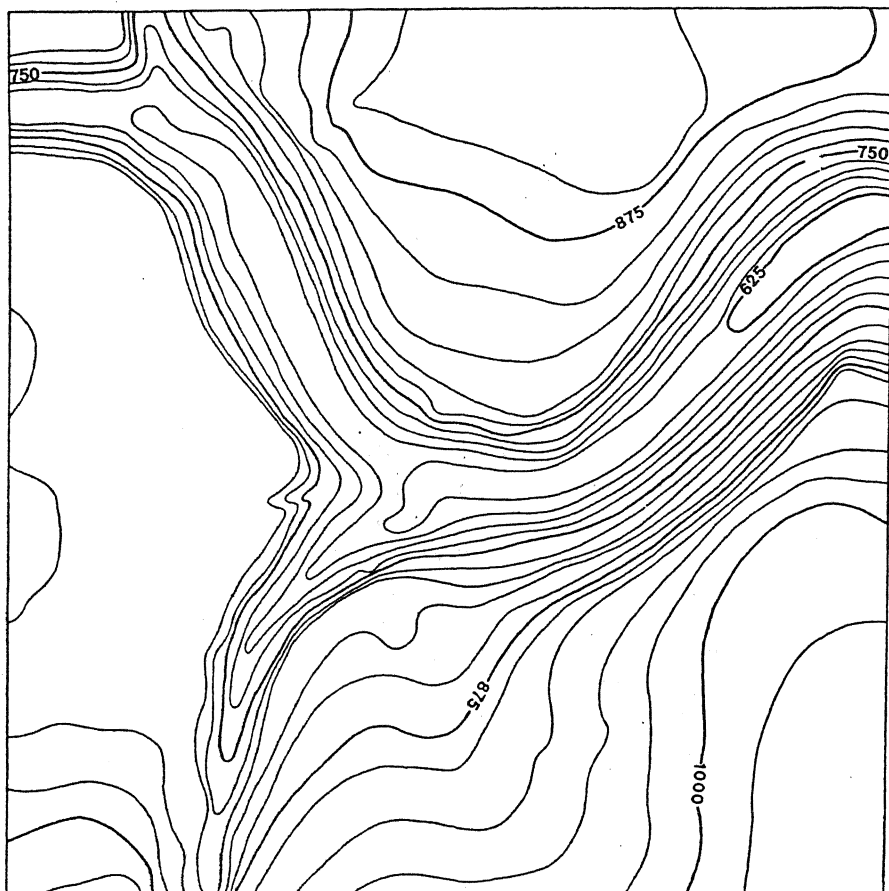


Рис. 100. Изображение рельефа исследуемого участка в горизонталях

масштаба 1 : 2 500, созданная государственным картографическим учреждением Британии — Артиллерийской съемкой (Ordnance Survey).

Все горизонтالي, изображающие рельеф исследуемого участка (рис. 100), были оцифрованы с помощью цифрователя "D-Mac", позволяющего автоматически записывать координаты горизонталей на магнитной ленте. При цифровании горизонталей положение иглы-резца, вмонтированного в специальную движущуюся каретку, фиксируется каждые $1/50$ доли секунды после нажатия пусковой кнопки на игле. За это время обеспечивается возможность перемещения иглы в среднем на $1/30$ долю миллиметра по осям X и Y (Kelk, 1974; Margerison, 1976).

Предварительный грубый контроль правильности цифрования осуществляется с помощью прозрачного пластика, который накладывается на исходное изображение. Обводя горизонтали иглой-резцом, он оставляет след на пластике, что сразу же позволяет сравнить оцифрованную линию с исходной. В случае их отличия можно нажатием специальной кнопки на каретке цифрователя стереть с магнитной ленты координаты плохо оцифрованной линии и произвести ее цифрование вновь.

Для контроля ошибок, вызванных деформацией бумаги или работой оператора, используется специальная программа для небольшого вычислительного устройства. Например, оцифровав углы рамки карты, программа проверяет ее ортогональность и через печатающее устройство сообщает сумму ошибок. В дальнейшем все координаты горизонталей трансформируются по отношению к строго ортогональной рамке карты. Координаты угловых точек используются и в том случае, если оператор указывает масштаб, их широту, долготу и проекцию карты. ЭВМ информирует оператора, если координаты угловых точек не согласуются с ее информацией. В нашем случае устранялись искажения, вызванные только неортогональностью рамки карты, произошедшей, по всей видимости, из-за деформации бумаги.

Каждая горизонталь в проведенном эксперименте цифровалась отдельно с предварительной ее идентификацией с помощью так называемых "видовых кодов". То есть перед каждым потоком координат той или иной горизонтали на магнитную ленту записывается значение ее абсолютной или относительной высоты. Поскольку каждая горизонталь имеет свое значение высоты сечения рельефа, то соответствующий набор текущих координат точек на магнитной ленте, представляющий данную горизонталь, может как бы идентифицироваться ее высотой. Далее по специальной программе производится уменьшение числа координат, например, исключением повторяющихся или мало отличающихся пар координат. Это не только уменьшает объем работы ЭВМ в дальнейшем, но и делает горизонтали более сглаженными.

Однако на данном этапе работ в изображении горизонталей еще могут встречаться небольшие погрешности цифрования. Поэтому оказывается целесообразным произвести их "чистовую" корректуру. Для этого первоначально все горизонтали вычерчиваются графопостроителем по координатам, причем рядом с каждой из них автоматически выписываются ее "видовые коды". Для вычерчивания горизонталей и надписей на этом этапе работ нами ис-

пользовался графопостроитель "Calcomp". Вычерченное изображение горизонталей совмещается с исходной картой и выявляются все даже мелкие погрешности цифрования, а в случае необходимости изменяются и "видовые коды". Далее все погрешности исправляются на магнитной ленте или диске, содержащем оцифрованное изображение. Этот этап работ условно назван "чистовой" корректурой картографического изображения, для чего оказывается пригодным обычный дисплей. Поскольку наиболее распространены дисплеи небольшого размера и невысокого разрешения, то они позволяют охватывать сравнительно небольшие площади карты одновременно. В данном эксперименте нами использовался дисплей "Tektronix" с размером экрана всего 20×15 см, так как для корректировки горизонталей не требовалось их высокоточное изображение.

Наборы координат точек, в цифровой форме представляющие горизонталы, используются для вычисления значений абсолютной или относительной высоты местности в узлах квадратной решетки, которая как бы покрывает весь изучаемый участок на карте. Для этих целей вполне естественно использовать метод аппроксимации рельефа с вычислением значений аппроксимируемой поверхности в узлах регулярной решетки. Однако здесь возникает проблема выбора размера квадратов, поскольку при их большом размере можно просеять как сквозь сито и потерять информацию о формах рельефа. В случае малого размера квадратов увеличивается объем работы ЭВМ. Поэтому был произведен небольшой эксперимент для выбора оптимального размера квадратов, аналогичный тому, который использовался при построении цифровых моделей Северного Казахстана для создания корреляционных карт (см. параграф III.1).

Было априори выбрано несколько размеров квадратов, и для каждого варианта произведена аппроксимация рельефа. Для того чтобы установить соответствие между характеристикой положения координат X и Y , как правило, измеряемой в миллиметрах, и высотой сечения рельефа, чаще всего измеряемой в метрах, нужно привести значения высоты рельефа к такому же измерению, причем учитывая масштаб карты. После этого, используя уже упоминавшуюся проблемно-ориентированную систему программ для ЭВМ — SACM (Surface Approximations and Contour Mapping), произведены интерполирование горизонталей на основе создания цифровой модели рельефа и автоматизированное их вычерчивание с помощью графопостроителя "Calcomp". Шкала сечения рельефа

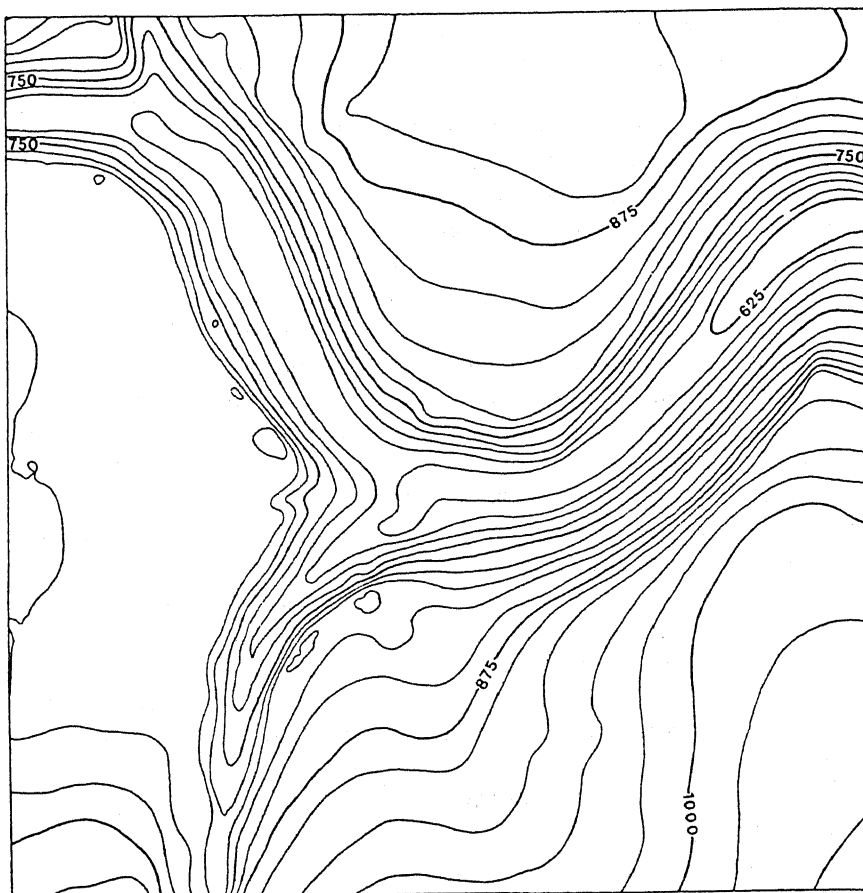


Рис. 101. Изображение рельефа, воссозданное на основе регулярной сети точек

была взята такой же, как и шкала исходной карты, что позволило простым совмещением карт выявить все различия между ними. Естественно, что с уменьшением размера регулярной решетки различия между этими картами становились все меньшими. При стороне квадрата 3,35 мм различия оказались достаточно малыми. Поскольку размер участка в масштабе карты приблизительно равен 40×40 см, количество узловых точек сторон квадратов, для которых вычислялись аппроксимированные значения высоты рельефа, составило 14 640. Заметим, что искажения в основном возникают вдоль краев карты, где количество точек для автоматизированного интерполирования изолиний ограничено (рис. 101). Поэтому было признано целесообразным ограничиться данным размером стороны квадрата и считать, что регулярная сеть точек с

вычисленными значениями высоты поверхности рельефа надежно представляет морфометрические формы для вычисления углов наклона и экспозиции склонов.

Чтобы объемно представить себе, как выглядит изображение рельефа исследуемого участка, на основании которого будут вычисляться углы наклона и экспозиции склонов, бывает полезно строить перспективные блок-диаграммы. Программа SACM позволяет автоматизированным путем строить такие изображения. Они могут быть показаны с четырех сторон горизонта и развернуты в вертикальной плоскости, т.е. можно рассматривать участок рельефа как бы из различных точек окружающего его пространства. В виде перспективных диаграмм можно представить отдельные интересующие части всего участка рельефа. Такие перспективные диаграммы позволяют в объемном изображении представить исследуемую поверхность и визуально оценить правильность расчета углов наклона и экспозиции склонов. Для примера приведем перспективную блок-диаграмму рельефа исследуемого участка местности при одном из наиболее выразительных его положений — при рассмотрении рельефа с верхней (северной) стороны при угле наклона 40° в вертикальной плоскости (рис. 102). Заметим, что после вычисления углов наклона или экспозиции склонов эти характеристики также можно представить в виде блок-диаграмм.

Подготовив информацию описанным способом, можно непосредственно приступить к вычислению углов наклона местности и экспозиции склонов, для чего были разработаны следующие три алгоритма.

Первый алгоритм. Имеем сеть точек с аппроксимированными значениями (z) высот рельефа. Данные точки могут быть представлены в виде прямоугольной матрицы с количеством столбцов N и строк M . Алгоритм работает по принципу скользящего окна. В левом нижнем углу матрицы берется точка, для которой $n_i = 2$ и $m_i = 2$, а также окружающие ее восемь ближайших точек. В пределах данного окна рассчитываются угол наклона и экспозиция склона. Затем n_i увеличивается на единицу и расчет производится заново. Далее n_i увеличивается еще на единицу и т.д. до точки с координатой $N - 1$ по столбцу матрицы. Таким же образом вычисляются углы наклона и экспозиции для всех положений окна с центральными точками, имеющими координаты ($n_i = 2, 3, 4, \dots, N - 1$ и $m_i = 3$) и т.д., до $m_i = M - 1$. Иными словами, расчеты не

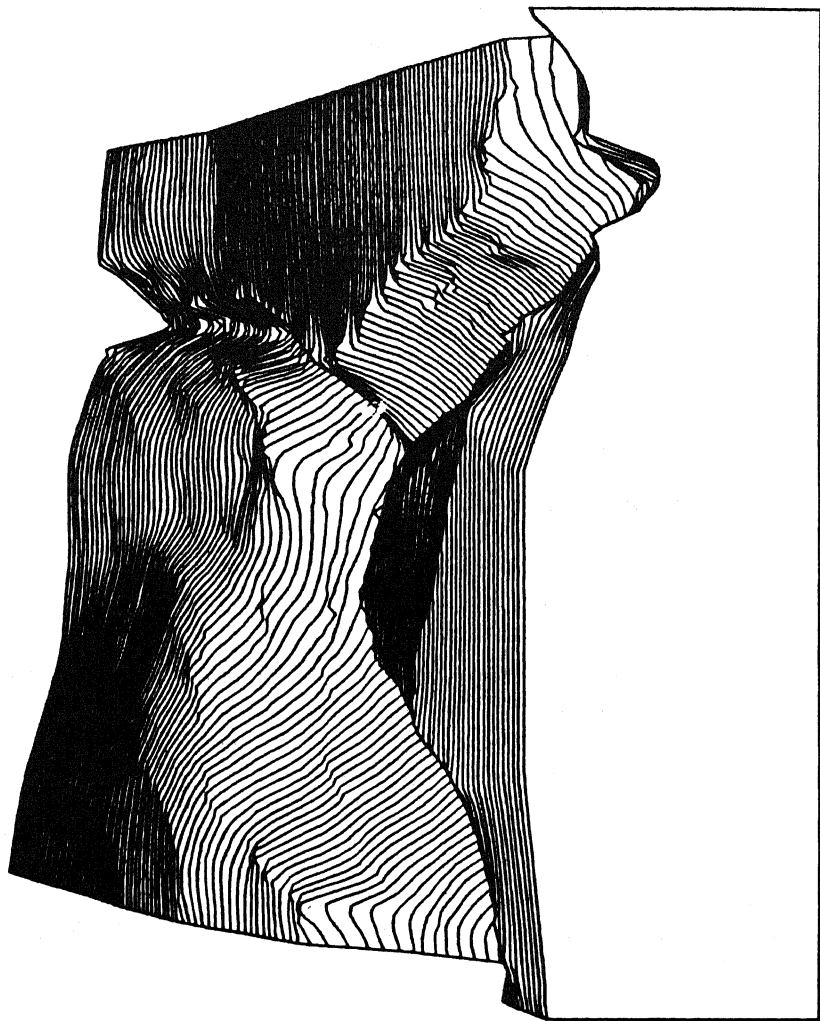


Рис. 102. Перспективная блок-диаграмма рельефа исследуемого участка местности

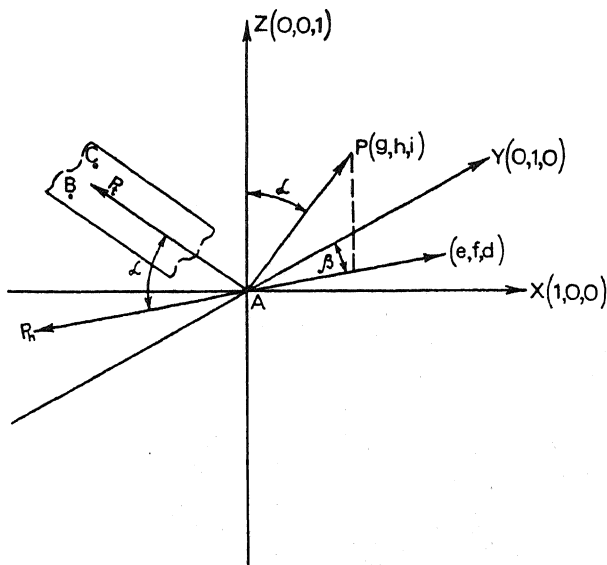


Рис. 103. Графическое представление положения угла наклона и экспозиции склона одной условной плоскости треугольника

производятся лишь для 2 строк и 2 столбцов, находящихся на краях матрицы.

В пределах каждого скользящего окна имеются одна центральная точка и восемь ее окружающих с известными значениями аппликат (z_i). Используя центральную точку и еще две соседние точки из ее окружения, а также центральную и две точки, располагающиеся на сторонах квадрата, можно построить 12 вариантов треугольников, плоскости которых строго фиксированы в трехмерном пространстве. Для каждой плоскости можно рассчитать угол ее наклона относительно горизонтальной поверхности и экспозицию относительно северного направления. Рассмотрим суть алгоритма на примере одного треугольника. Обозначим его вершины A , B и C . Проведем горизонтальную плоскость через центральную точку (A) скользящего окна (рис. 103). Таким образом имеем

$$\begin{aligned}
 A &= (x_A, y_A, z_A), \\
 B &= (x_B, y_B, z_B), \\
 C &= (x_C, y_C, z_C),
 \end{aligned}
 \tag{8.1}$$

где x и y — координаты точек в матрице (номера строк и столбцов), z — величина аппроксимированных значений высоты рельефа.

Можно вычислить нормаль (P) и направляющие косинусы для нее по отношению к плоскости треугольника

$$\begin{aligned}\vec{AB} &= (x_B - x_A, y_B - y_A, z_B - z_A), \\ \vec{AC} &= (x_C - x_A, y_C - y_A, z_C - z_A),\end{aligned}\tag{8.2}$$

$$\begin{aligned}\vec{AB} \times \vec{AC} &= \begin{pmatrix} x_B - x_A \\ y_B - y_A \\ z_B - z_A \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} x_C - x_A \\ y_C - y_A \\ z_C - z_A \end{pmatrix} = \\ &= \begin{pmatrix} (y_B - y_A) \cdot (z_C - z_A) - (z_B - z_A) \cdot (y_C - y_A) \\ (z_B - z_A) \cdot (x_C - x_A) - (x_B - x_A) \cdot (z_C - z_A) \\ (x_B - x_A) \cdot (y_C - y_A) - (y_B - y_A) \cdot (x_C - x_A) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} p_A \\ p_B \\ p_C \end{pmatrix}.\end{aligned}\tag{8.3}$$

Таким образом можно вычислить и направляющие косинусы:

$$\begin{aligned}g &= \frac{p_A}{\sqrt{p_A^2 + p_B^2 + p_C^2}}, \\ h &= \frac{p_B}{\sqrt{p_A^2 + p_B^2 + p_C^2}}, \\ i &= \frac{p_C}{\sqrt{p_A^2 + p_B^2 + p_C^2}}.\end{aligned}\tag{8.4}$$

Для проекции данной нормали в горизонтальной плоскости аналогично можно записать

$$\begin{aligned}e &= \frac{p_A}{\sqrt{p_A^2 + p_B^2}}, \\ f &= \frac{p_B}{\sqrt{p_A^2 + p_B^2}},\end{aligned}\tag{8.5}$$

$$d = 0.$$

Или используя уже вычисленное значение направляющих косинусов g , h и i , запишем

$$e = \frac{g}{\sqrt{1 - i^2}},$$

$$f = \frac{h}{\sqrt{1 - i^2}},$$
(8.6)

$$d = 0.$$

После этого можно вычислить максимальный угол наклона плоскости треугольника по отношению к горизонтальной плоскости (α) и экспозицию плоскости треугольника (β) по отношению к северному направлению (на рис. 103 — ось Y).

$$\alpha = \arccos(i) = \arccos\left(\frac{p_C}{\sqrt{p_A^2 + p_B^2 + p_C^2}}\right),$$
(8.7)

$$\beta = \arccos(f) = \arccos\left(\frac{p_B}{\sqrt{p_A^2 + p_B^2}}\right).$$

Это ясно из рис. 103. Так как, имея линию пересечения горизонтальной плоскости и плоскости треугольника, максимальный угол α образуется между перпендикулярами, восстановленными из любой точки (в частности, из точки A) в двух плоскостях. А экспозиция склона β получается как угол между осью Y и перпендикуляром, лежащим в горизонтальной плоскости.

Таким образом, максимальный угол наклона плоскости треугольника принимается за угол наклона местности α в пределах скользящего окна, а угол β — за экспозицию склона. Аналогично для всех 12 вариантов треугольников в пределах скользящего окна можно рассчитать значения α и β . Выбрав из 12 вариантов наибольшее значение α , принимаем его за окончательное значение угла наклона местности, а соответствующий ему угол β будет характеризовать экспозицию склона. Хотя значения α и β характеризуют рельеф в пределах плоскости треугольников между точками A , B и C , они изображаются в центральной точке скользящего окна.

Проведя аналогичные вычисления при всех возможных положениях скользящего окна, получаем значения углов наклона и экспозиции склонов для всех узлов решетки исследуемого района, за исключением узлов, расположенных на краях.

Второй алгоритм. Так же как и в первом алгоритме, для его реализации используется метод скользящего окна. Однако в пределах скользящего окна расчет производится не по 12 треугольникам, а для одной плоскости, рассчитанной на основе всех девяти точек, характеризующихся соответствующими значениями z_i . Для воссоздания плоскости на основе значений аппликат девяти точек можно использовать метод наименьших квадратов. Используя уравнение плоскости как $z = a_2y + a_1x + a_0$, поставим условие, чтобы $\sum_{i=1}^k (a_2y_i + a_1x_i + a_0 - z_i)^2 = [a_2, a_1, a_0]$ были бы минимальными, где $k = 9$. Для получения каждого коэффициента дифференцируем данную функцию:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^k (a_2y_i + a_1x_i + a_0 - z_i) y_i &= 0, \\ \sum_{i=1}^k (a_2y_i + a_1x_i + a_0 - z_i) x_i &= 0, \\ \sum_{i=1}^k (a_2y_i + a_1x_i + a_0 - z_i) &= 0, \end{aligned} \tag{8.8}$$

что дает

$$\begin{aligned} a_2 \sum_{i=1}^k y_i^2 + a_1 \sum_{i=1}^k x_i y_i + a_0 \sum_{i=1}^k y_i &= \sum_{i=1}^k z_i y_i, \\ a_2 \sum_{i=1}^k x_i y_i + a_1 \sum_{i=1}^k x_i^2 + a_0 \sum_{i=1}^k x_i &= \sum_{i=1}^k z_i x_i, \\ a_2 \sum_{i=1}^k y_i + a_1 \sum_{i=1}^k x_i + a_0 \sum_{i=1}^k 1 &= \sum_{i=1}^k z_i. \end{aligned} \tag{8.9}$$

Выражая уравнения в терминах матричной алгебры $CX = R$, где

$$\begin{pmatrix} \sum_{i=1}^k y_i^2, & \sum_{i=1}^k x_i y_i, & \sum_{i=1}^k y_i \\ \sum_{i=1}^k x_i y_i, & \sum_{i=1}^k x_i^2, & \sum_{i=1}^k x_i \\ \sum_{i=1}^k y_i, & \sum_{i=1}^k x_i, & k \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} a_2 \\ a_1 \\ a_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^k z_i y_i \\ \sum_{i=1}^k z_i x_i \\ \sum_{i=1}^k z_i \end{pmatrix}, \quad (8.10)$$

C
 X
 R

можно получить коэффициенты a_2, a_1, a_0 , решив их. Не излагая всей достаточно хорошо известной процедуры вычисления коэффициентов, приведем лишь результирующие формулы для их вычисления.

$$\begin{aligned} a_2 &= \left(\frac{1}{D_{11}} + \frac{L_{21}^2}{D_{22}} + \frac{(L_{32}L_{21} - L_{31})^2}{D_{33}} \right) \cdot \sum_{i=1}^k z_i y_i - \\ &- \left(\frac{L_{21}}{D_{22}} + \frac{(L_{32}L_{21} - L_{31})}{D_{33}} \cdot L_{32} \right) \cdot \sum_{i=1}^k z_i x_i + \frac{(L_{32}L_{21} - L_{31})}{D_{33}} \cdot \sum_{i=1}^k z_i, \\ a_1 &= \left(\frac{1}{D_{11}} + \frac{L_{32}^2}{D_{33}} \right) \cdot \sum_{i=1}^k z_i x_i - \left(\frac{L_{21}}{D_{22}} + \frac{(L_{32}L_{21} - L_{31})}{D_{33}} \cdot L_{32} \right) \times \\ &\times \sum_{i=1}^k z_i y_i - \frac{L_{32}}{D_{33}} \cdot \sum_{i=1}^k z_i, \\ a_0 &= \frac{(L_{32}L_{21} - L_{31})}{D_{33}} \cdot \sum_{i=1}^k z_i y_i - \frac{L_{32}}{D_{33}} \cdot \sum_{i=1}^k z_i x_i + \frac{\sum_{i=1}^k z_i}{D_{33}}, \end{aligned}$$

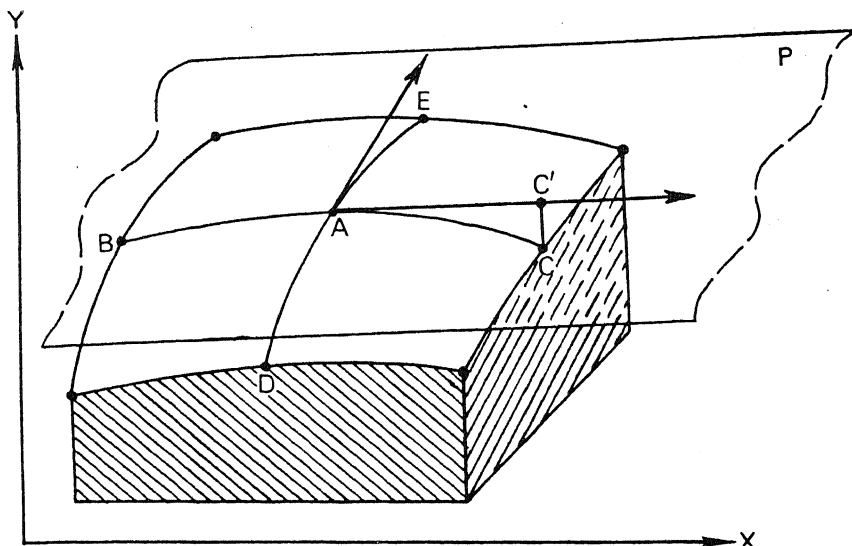


Рис. 104. Схема выбора точек в пределах скользящего окна для их квадратической аппроксимации

где

$$D_{11} = \sum_{i=1}^k y_i^2; \quad D_{22} = \sum_{i=1}^k x_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^k x_i y_i \right)^2}{\sum_{i=1}^k y_i^2}; \quad L_{21} = \frac{\sum_{i=1}^k x_i y_i}{\sum_{i=1}^k y_i^2};$$

$$L_{31} = \frac{\sum_{i=1}^k y_i}{\sum_{i=1}^k y^2}; \quad L_{32} = \frac{\sum_{i=1}^k x_i - D_{11} L_{21} L_{31}}{D_{22}}; \quad D_{33} = k - D_{11} L_{31}^2 - D_{22} L_{32}^2.$$

Вычислив коэффициенты a_2 , a_1 и a_0 , однозначно определяем плоскость в пределах скользящего окна, для которой, так же как и в первом алгоритме, вычисляем угол наклона (α) и экспозицию (β).

Третий алгоритм. В данном алгоритме используется квадратическая аппроксимация точек в пределах скользящего окна. Для квадратической аппроксимации можно использовать три точки, включая среднюю, в направлении оси X и три точки, включая среднюю, в направлении оси Y (рис. 104).

Запишем квадратическое уравнение для трех точек B , A и C в направлении оси X :

$$z = a_2x^2 + a_1x + a_0. \quad (8.11)$$

Если принять условную систему координат с центром в точке A , то можно записать

$$\begin{aligned} z_C &= a_2\Delta l^2 + a_1\Delta l + a_0, \\ z_A &= a_20^2 + a_10 + a_0, \\ z_B &= a_2(-\Delta l)^2 + a_1(-\Delta l) + a_0, \end{aligned} \quad (8.12)$$

где Δl — разность координат между центральной точкой A и четырьмя ее окружающими как по оси X , так и Y .

Так как $z_A = a_0$, то

$$\begin{aligned} z_C &= a_2\Delta l^2 + a_1\Delta l + z_A, \\ z_B &= a_2\Delta l^2 - a_1\Delta l + z_A, \end{aligned} \quad (8.13)$$

Суммируя эти уравнения, получаем

$$z_C + z_B = 2a_2\Delta l^2 + 2z_A. \quad (8.14)$$

Откуда

$$a_2 = \frac{z_C + z_B - 2z_A}{2\Delta l^2}. \quad (8.15)$$

Вычитая z_B из z_C , получаем

$$z_C - z_B = 2a_1\Delta l. \quad (8.16)$$

Откуда

$$a_1 = \frac{z_C - z_B}{2\Delta l}. \quad (8.17)$$

Следовательно, исходное квадратическое уравнение можно записать:

$$z = \left(\frac{z_C + z_B - 2z_A}{2\Delta l^2} \right) x^2 + \left(\frac{z_C - z_B}{2\Delta l} \right) x + z_A. \quad (8.18)$$

Если продифференцировать функцию z предыдущего уравнения относительно X , то можно рассчитать угол склона в направлении оси X (рис. 104):

$$\frac{dz}{dx} = 2 \left(\frac{z_C + z_B - 2z_A}{2\Delta l^2} \right) x + \frac{z_C - z_B}{2\Delta l}. \quad (8.19)$$

Из этого получаем, что тангенс угла склона в точке A равен

$$\frac{z_C - z_B}{2\Delta l},$$

так как $X = 0$, то первое слагаемое уравнения (8.19) обращается в нуль. Поэтому, вычисляя превышение точки C' над точкой C (расстояние CC' на рис. 104), где точка C' является проекцией перпендикуляра, проведенного из точки C на вектор склона, получаем

$$z_{C'} - z_A = \left(\frac{z_C - z_B}{2\Delta l} \right) (x_C - x_A). \quad (8.20)$$

Откуда

$$z_{C'} = \frac{z_C - z_B}{2\Delta l} \Delta l + z_A = \frac{z_C}{2} - \frac{z_B}{2} + z_A. \quad (8.21)$$

Проведя аналогичные расчеты для трех точек в направлении оси Y , получаем

$$z_{E'} = \frac{z_F}{2} - \frac{z_D}{2} + z_A. \quad (8.22)$$

Три точки с известными значениями аппликат z_A , $z_{C'}$ и $z_{E'}$ однозначно определяют плоскость (P), в которой лежат оба вектора (см. рис. 104). Определив плоскость, представляющую собой склон в пределах всего скользящего окна, так же как и в первом алгоритме, можно вычислить для нее угол наклона (α) и экспозицию (β).

Для того чтобы сравнить точность всех трех алгоритмов, они были использованы для вычисления углов наклона и экспозиций склонов сети точек, расположенных на полусфере. Полусфера использована для того, чтобы можно было теоретически вычислить углы наклона и экспозиции склонов в разных ее частях, а также рассчитать эти же углы, используя три предложенных алгоритма. Значения аппликат точек на полусфере легко вычисляются из ее уравнения $z_i = \sqrt{r^2 - x_i^2 - y_i^2}$, где r — радиус сферы. Для любой из точек на полусфере можно провести плоскость, касательную к поверхности полусферы и проходящую через данную точку. Эта плоскость теоретически точно определяет угол наклона и экспозицию поверхности полусферы в данном месте.

Так же как в первом алгоритме, можно вычислить для данной плоскости нормаль (p_i) и направляющие косинусы (g, h, i) :

$$g = \frac{x_i}{r}; \quad h = \frac{y_i}{r}; \quad i = \frac{z_i}{r}, \quad (8.23)$$

а затем углы α и β :

$$\alpha = \arccos(i), \quad (8.24)$$

$$\beta = \arccos \frac{h}{\sqrt{1 - i^2}}.$$

Таким образом определяются теоретически вычисленные углы α и β во всех точках сети. Для этих же точек можно рассчитать углы α и β на основе трех алгоритмов. Это позволяет найти сумму квадратов разностей между теоретически вычисленными углами и соответствующими им аналогичными углами, полученными на основе реализации предложенных методов, а также подсчитать среднеквадратические отклонения:

$$\begin{aligned} \nu &= \sum_{j=1}^n \nabla_j^2, \\ \sigma &= \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (\nabla_j - \bar{\nabla})^2}{n}}, \end{aligned} \quad (8.25)$$

где ∇ — разность теоретических и вычисленных углов наклона или экспозиции склонов; n — общее число точек; $\bar{\nabla} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \nabla_j$.

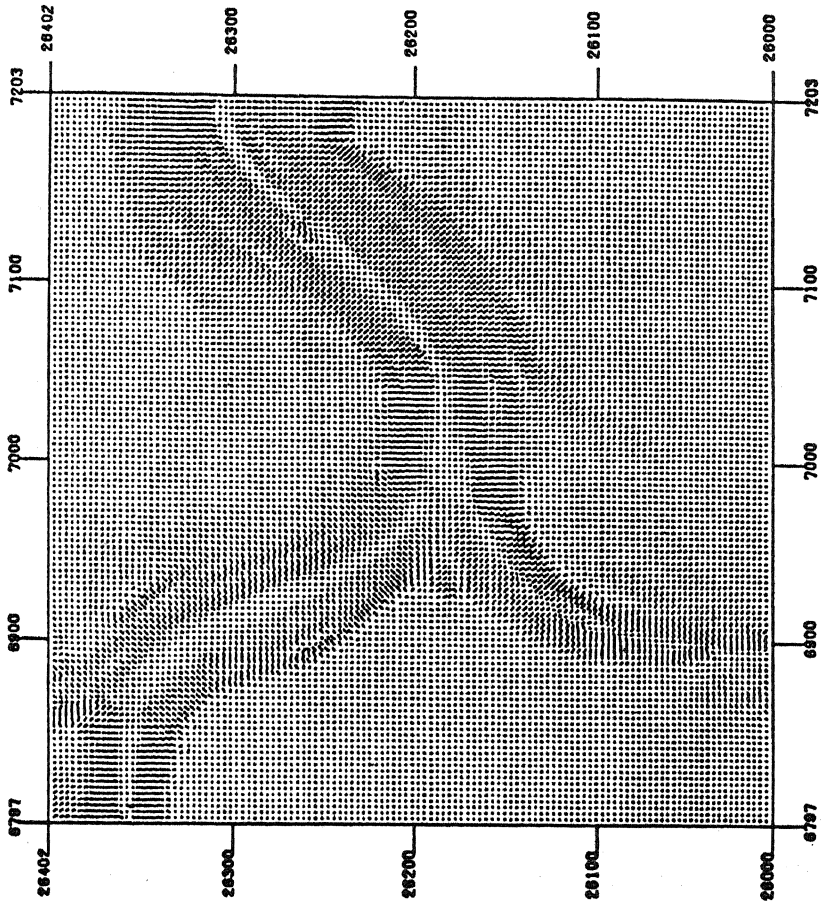


Рис. 105. Карта углов наклона и экспозиций склонов

Величина ошибок для трех алгоритмов оказалась следующая (табл. 12). Из таблицы видно, что наилучшие результаты получают при использовании третьего алгоритма и худшие — при использовании первого.

Таблица 12
Величины ошибок при реализации трех алгоритмов

Алгоритм	Углы наклона		Экспозиции склонов	
	Первый	4985,728	1,643	4342,765
Второй	125,652	0,662	0,569	0,058
Третий	19,673	0,208	0,460	0,052

На основе цифровой модели рельефа, изображенного на рис. 101, были реализованы все три алгоритма, а результаты расчетов представлены в картографической форме. Причем традиционный картографический метод выделения площадей с одинаковыми углами наклона в пределах заранее заданных для них интервалов оказался неудобным. Такой метод не предполагает отображения характеристик экспозиций склонов. Поэтому карты составлялись по другой методике, когда в соответствующих средних точках скользящего окна наносятся штрихи, длина которых пропорциональна углу наклона местности, а направление соответствует экспозиции склонов по отношению к северному направлению. Для автоматизированного вычерчивания таких карт на графопостроителе была составлена соответствующая программа. Карта, вычерченная графопостроителем "Calcomp" по результатам реализации лучшего третьего алгоритма, приведена на рис. 105. Аналогичная карта, созданная на основе второго алгоритма, мало отличается от карты, изображенной на рис. 105. Использование первого алгоритма дает различные даже визуально результаты.

Резюмируя сказанное, можно сделать вывод, что предложенная методика автоматизированного создания карт углов наклона и экспозиции склонов позволяет достаточно быстро и точно строить соответствующие карты для нужд сельского хозяйства, дорожного строительства, геоморфологии и т.д.

VIII.2. АВТОМАТИЗАЦИЯ СОЗДАНИЯ СИНТЕТИЧЕСКИХ КАРТ

Рассмотрим методику автоматизированного создания достаточно сложной карты оценки природных условий для виноградарства

Молдавии. Данный эксперимент охватывает все этапы автоматизированного процесса создания карты с цифрованием исходного материала и воспроизведение картографического изображения, и включает следующие основные этапы работ.

1. Цифрование картографического изображения территории Молдавии и первичных территориальных единиц, по которым подготавливалась исходная информация.

2. Организация базы данных исходных признаков-индикаторов оценки территории и оцифрованного картографического изображения.

3. Реализация многовариантного алгоритма автоматической классификации исходных территориальных единиц на оценочные группы.

4. Печать всех вариантов оценочной карты на алфавитно-цифровом печатающем устройстве ЭВМ и выбор лучшего варианта на основе коэффициентов однородности.

5. “Чистовая” корректура и исправление погрешностей цифрования выбранного варианта карты.

6. Высокоточное и качественное вычерчивание карты автоматизированным путем.

Рассмотрев каждый из этапов работы, можно поблочно описать использованную методику создания оценочной карты Молдавии. Прежде всего необходимо произвести цифрование картографического изображения республики. Были оцифрованы государственная граница с Румынией, республиканская с Украиной и границы 125 внутренних территориальных единиц. Каждая граница цифровалась отдельно с предварительной ее идентификацией с помощью “видовых кодов”, т.е. перед каждым потоком текущих координат той или иной границы на магнитную ленту записывался ее тип (например, 1 — государственная граница, 2 — республиканская, 3 — границы между внутренними территориальными единицами) и еще два числа, характеризующих, какие две единицы данная граница разделяет. Это могут быть порядковые номера территориальных единиц или нуль, который условно обозначает все территории за пределами Молдавии.

Например, набор из перечисленных “видовых кодов” для границы между 24-й и 25-й территориальными единицами можно записать так — 3 24 25 и далее идет поток координат X и Y линии границы. Для границы между 12-й единицей и Украиной — 2 12 0 и далее поток координат. Такая запись позволяет в дальнейшем, используя “видовые коды”, легко отыскивать и корректировать границы, компоновать из отдельных отрезков замкнутые

полигоны территориальных единиц или в дальнейшем их оценочных групп, подсчитывать по координатам площади и т.д. В процессе обработки оцифрованной информации нами использовалась программа для ЭВМ, производящая уменьшение числа координат стиранием одинаковых или близких пар координат с магнитной ленты.

Оцифрованные отрезки границ с их “видовыми кодами”, записанные на магнитной ленте или диске, представляют собой базу данных, позволяющую автоматически воспроизводить картографическую основу в графической форме, выбирать определенные типы границ, компоновать из них замкнутые полигоны и т.д. Кроме того, для формирования тематической нагрузки оценочной карты на магнитную ленту записываются все 16 показателей по 125 территориальным единицам, которые в своей совокупности характеризуют благоприятность природных условий для виноградарства.

Здесь следует заметить, что развитие виноградарства зависит от огромного числа факторов природного и экономического характера, которые должны рассматриваться комплексно. Несколько упростив задачу и исследуя только степень влияния природных факторов на виноградарство, была поставлена конкретная цель комплексной оценки природных условий для развития виноградарства на примере Молдавии (Ботнарь, Тикунов, 1977). По замыслу создаваемая карта должна отображать благоприятность природных условий для виноградарства в целом, без подразделения по сортам, срокам созревания винограда и т.д. Иными словами, карта должна раскрывать общие закономерности, которые могут быть углублены и изучены при более детальных исследованиях.

В результате анализа орографических, климатических, фитофенологических и почвенных условий был выделен следующий круг показателей: 1) абсолютная высота местности; 2) экспозиция склонов; 3) среднемесячная температура января; 4) среднемесячная температура июля; 5) сумма среднесуточных температур за период с температурой 10° ; 6) продолжительность солнечного сияния (часы) за период с конца цветения винограда до начала уборки; 7) средняя продолжительность безморозного периода (дни); 8) среднегодовое количество осадков; 9) среднее количество осадков за период вегетации; 10) среднемесячное количество осадков за период апрель—май; 11) среднемесячное количество осадков за август—сентябрь; 12) годовой гидротермический коэффициент; 13) гидротермический коэффициент от начала вегетации до периода

цветения; 14) гидротермический коэффициент от начала цветения до начала созревания; 15) гидротермический коэффициент от начала созревания до начала сбора; 16) почвы (Ботнарь, Тикунов, 1977).

Первоначально исходная информация собиралась по всем 676 виноградарским хозяйствам Молдавии, однако после ее анализа оказалось, что наборы показателей у целого ряда хозяйств или полностью тождественны, или незначительно различаются по одному или двум признакам-индикаторам. В связи с этим было признано целесообразным сразу же объединить такие хозяйства вместе при условии, если они граничат друг с другом. В результате такой группировки получилось 125 исходных территориальных единиц, представляющих собой группы хозяйств с практически одинаковыми наборами значений показателей оценки природных условий. Обоснование системы показателей, описание методики и характеристика результатов моделирования подробно описаны в книге (Тикунов, 1985б).

Далее на основе указанной системы показателей, реализовался один из оценочных алгоритмов классификации (см. гл. II). В данном эксперименте показатели нормировались с учетом наилучших для виноградарства характеристик показателей (см. формулу (2.30)). Данная нормировка для всех показателей устанавливает одинаковый предел варьирования от 0 до 1. Величина показателя, равная 0, свидетельствует о совпадении ее с наилучшей оценочной характеристикой и, наоборот, величина, равная 1, — признак наихудших оценочных условий. В данном эксперименте было поставлено условие, чтобы в процессе формирования таксонов все показатели участвовали как бы с равным “весом” независимо от структуры варьирования их конкретных значений. Для этого по каждому показателю можно подсчитать коэффициенты вариации их значений и использовать величины, обратные коэффициентам вариации в качестве “веса” при нормировке показателей (см. формулу (7.6)). Заметим, что после такой нормировки значения показателей можно дополнительно умножать на “веса”, отображающие степень значимости каждого из них, если такие “веса” удастся каким-либо образом определить, например по оценкам экспертов.

Поскольку в нашем случае оценочная карта создается для целей виноградарства, то была разработана методика, позволяющая связать урожайность винограда и характеристики природных условий, в значительной мере определяющие урожайность, вместе (Тикунов, 1980б). Для этого на основе 125 исходных территори-

альных единиц было рассчитано уравнение множественной регрессии по методу определителей, устанавливающее степень связи всех 16 показателей как аргументов в зависимости от функции — величины урожайности. В результате получается следующее уравнение:

$$\begin{aligned}
 y = & -0,156x_1 + 0,118x_2 + 0,396x_3 + 0,168x_4 + \\
 & + 0,076x_5 + 0,105x_6 - 0,174x_7 - 0,940x_8 + \\
 & + 0,699x_9 + 0,290x_{10} - 0,228x_{11} + 0,198x_{12} - \\
 & - 0,173x_{13} + 0,563x_{14} - 0,333x_{15} - 0,293x_{16} .
 \end{aligned}
 \tag{8.26}$$

Вычисленный коэффициент множественной регрессии равен $0,701 \pm 0,046$. Средняя квадратическая ошибка уравнения регрессии составила величину 1,928. Далее вычислялись доли вклада аргументов (x), выраженные в процентах от суммарной дисперсии функции (y), описываемой уравнением (8.26). Доли вклада каждого показателя составили следующие величины: 1 — 3,67; 2 — 1,86; 3 — 15,76; 4 — 5,43; 5 — 2,68; 6 — 3,48; 7 — 3,63; 8 — 12,78; 9 — 11,36; 10 — 2,12; 11 — 6,12; 12 — 4,45; 13 — 3,41; 14 — 10,77; 15 — 10,49; 16 — 1,99.

Графическое представление связи вычисленных и фактических значений функции представлено на рис. 106 и свидетельствует о достаточно четко выраженной зависимости. Величина среднеквадратического отклонения расчетных величин от фактических составила 14,48%. Чтобы учесть степень влияния каждого показателя на результирующую величину — урожайность, при группировке территориальных единиц доли вклада аргументов были использованы как “веса” каждого показателя, на которые дополнительно умножались нормированные значения \bar{x} .

Поскольку использованный нами алгоритм многовариантный (в данном эксперименте число таксонов варьировало от 15 до 2), то было признано целесообразным все варианты группировки территориальных единиц в оценочные группы представлять в графической форме для общей их географической оценки. В этом случае, когда строятся рабочие, промежуточные карты, нет необходимости их точного и высококачественного воспроизведения, и, на наш взгляд, на этом этапе наиболее удобно и дешево применение алфавитно-цифровых печатающих устройств (АЦПУ) ЭВМ. Это удобно еще и тем, что после расчета каждого варианта дифферен-

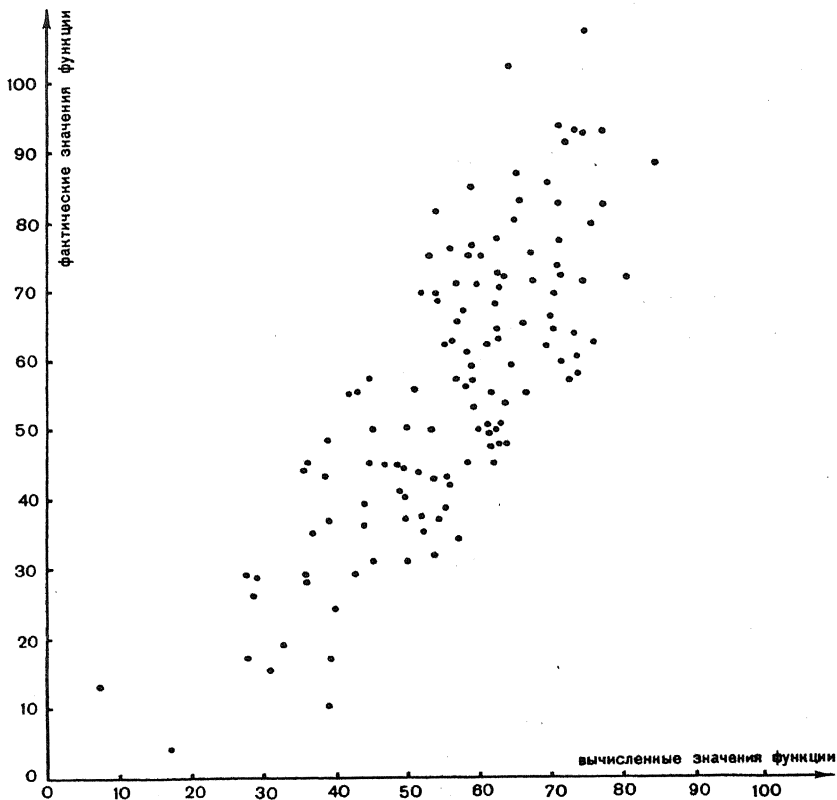


Рис. 106. График вычисленных и фактических значений функции

циации территории можно сразу же печатать и соответствующие им карты.

Подготовка матрицы, кодирующей пространственное размещение территориальных единиц и необходимой для реализации методики, производилась с помощью цифрователя. На изображение Молдавии накладывалась стандартная прямоугольная сетка, награвированная на пластике. Шаг сетки по горизонтали равен отстоянию литер АЦПУ ЭВМ, а по вертикали — отстоянию строк АЦПУ. Далее с помощью цифрователя считывались координаты всех узлов сетки, причем в этом случае достаточно использовать один “видовой код” — номера территориальных единиц, внутри которых на карте располагаются те или иные узлы. Узлы сетки, которые оказываются вне границ картографируемой территории, кодируются нулем.

При реализации процедуры классификации номера всех исходных территориальных единиц, отнесенных к одному таксону, перекодируются ЭВМ на один порядковый номер их эталона (наиболее типичной для данного таксона территориальной единицы). Это позволяет автоматически заменить значения “видовых кодов” узлов сетки, покрывающих все территориальные единицы, сгруппированные в один таксон, на номер его эталонной единицы и для каждого из таксонов установить соответствующий символ АЦПУ. После этого при помощи стандартной процедуры выдачи осуществляется печать матрицы, содержащей “видовые коды”, замененные набором символов АЦПУ. Причем в узлах сетки, имеющих нулевые значения, никакие литеры не печатаются. Таким образом, построчно воссоздается картографическое изображение. Для следующего варианта дифференциации территории с меньшим числом таксонов один из символов АЦПУ не используется, затем в последующем варианте — два и т.д.

Оценивая напечатанные карты с содержательно-географических позиций, из всего спектра вариантов дифференциации территории на оценочные группы выбирается один окончательный вариант. Для выбора лучшего со статистической точки зрения варианта используются коэффициенты неоднородности (см. формулы (2.28) и (2.29)). Окончательный вариант карты Молдавии, созданной на АЦПУ, с семью таксонами приведен на рис. 107. Границы для данной карты вычерчивались графопостроителем “Aristomat 8446” с помощью светового луча по прозрачному фоточувствительному пластику. Затем изображение границ накладывалось на распечатку, сделанную с помощью АЦПУ, и совмещенное изображение перифотографировалось.

Заметим, что предварительно производился отбор лишь тех границ, которые будут наноситься на результирующее изображение. Для этого, используя “видовые коды” границ и зная, какие территориальные единицы отнесены к одному таксону, следует стереть с магнитной ленты соответствующие данным границам координаты. Например, если 24, 25 и 26-я территориальные единицы сливаются в один таксон, то специальная программа для ЭВМ анализирует “видовые коды” и, выбрав из них сочетания 24 и 25, 24 и 26, 25 и 26, стирает соответствующие координаты границ с магнитной ленты. “Видовые коды” 24, 25 и 26 заменяются одним “видовым кодом” — номером эталона данного таксона. Естественно, если территориальные единицы относятся к одному таксону, но не имеют общих границ, то такое сочетание “видовых кодов” во всей их совокупности не встретится.

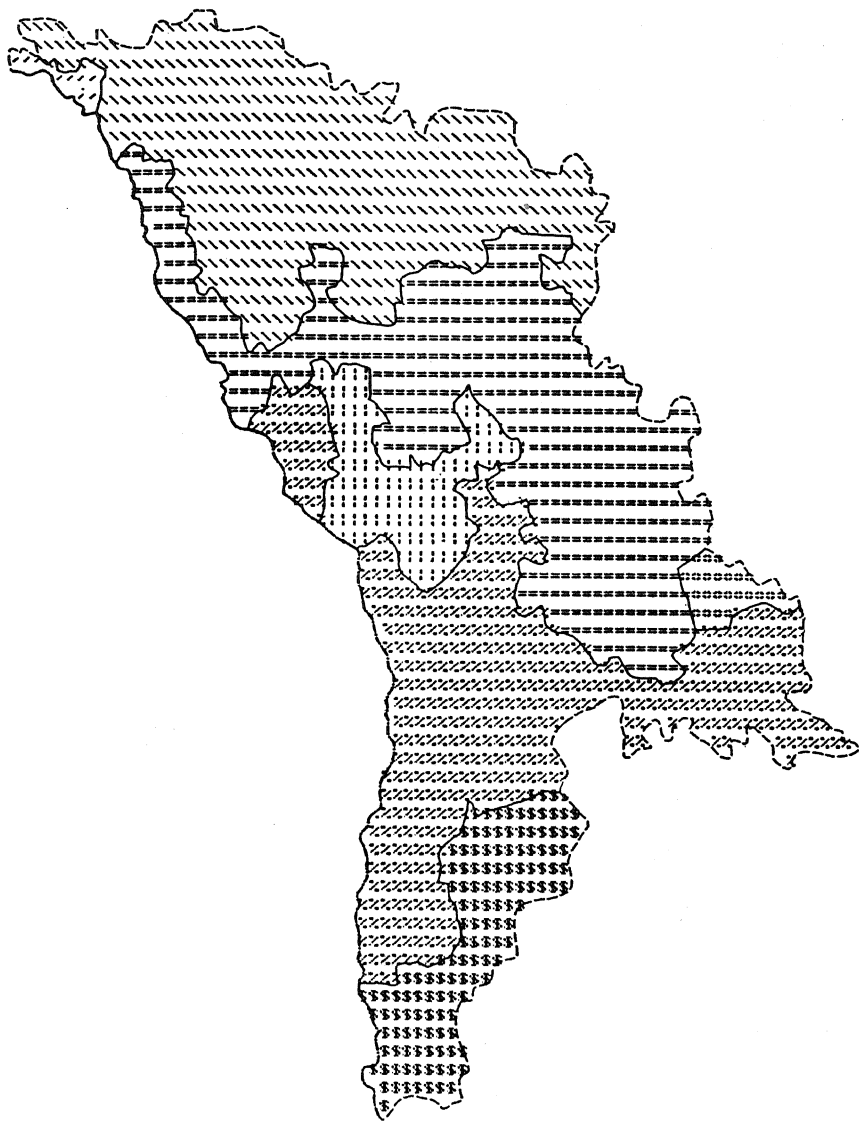


Рис. 107. Оценка природных условий для виноградарства Молдавии, созданная на алфавитно-цифровом печатающем устройстве ЭВМ

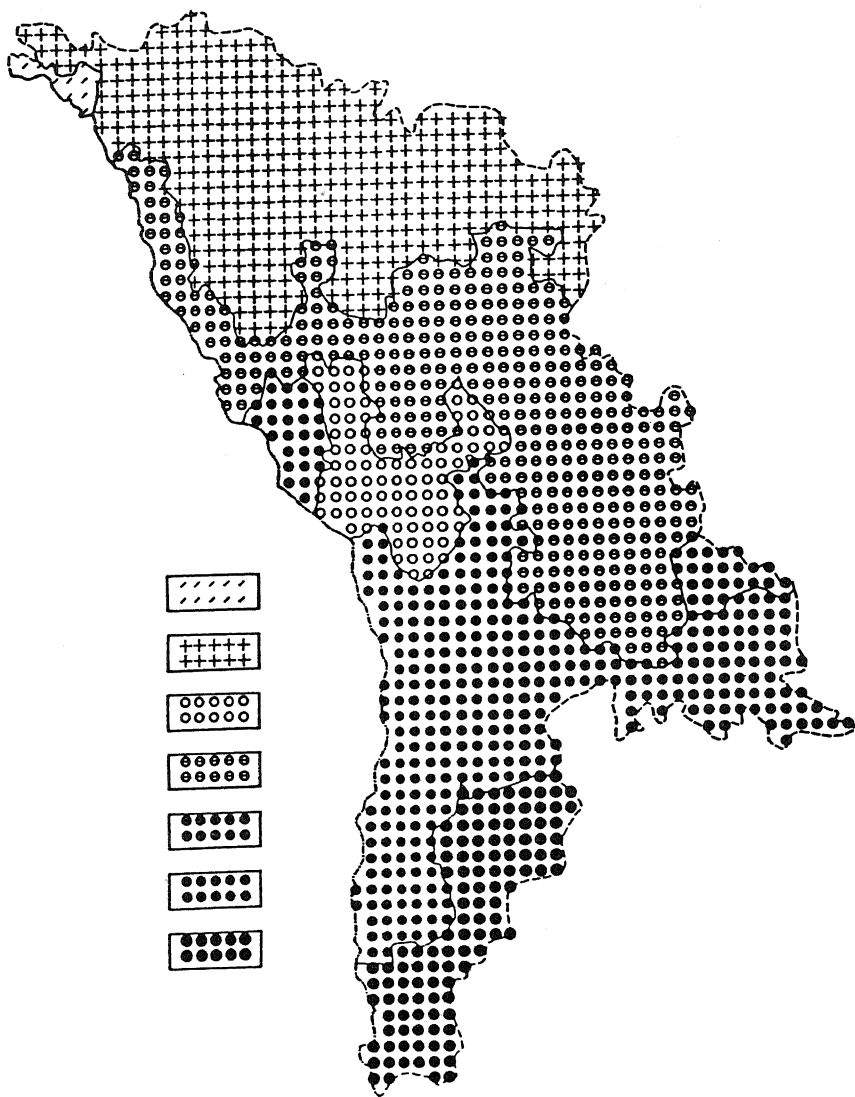


Рис. 108. Оценка природных условий для виноградарства Молдавии, оформленная различными значками

В принципе требуемая оценочная карта создана и автоматизированным путем воспроизведена в графическом виде. Однако изображения, созданные на АЦПУ ЭВМ, более грубы, чем построенные традиционными, ручными способами. Кроме того, в изображении границ еще могут встречаться небольшие погрешности цифрования и т.д. Поэтому оказывается целесообразным осуществлять “чистовую” корректуру границ, аналогично тому как это делалось при создании карты углов наклона и экспозиции склонов, и воспроизвести картографическое изображение с помощью высокоточных графопостроителей.

После этого остается лишь вычертить изображение границ и тематического содержания карты с требуемым высоким графическим качеством. Для этих целей нами использовался графопостроитель “Aristomat 8446”. Во-первых, можно создавать изображения, по сути, похожие на линейно напечатанные карты, где символы АЦПУ ЭВМ будут заменены различными значками. Методика создания таких карт аналогична алгоритму их построения на АЦПУ, однако в этом случае расстояние между значками может быть любым и не лимитируется соотношением вертикального и горизонтального отстояний символов АЦПУ. Кроме того, использование графопостроителя позволяет на одном листе пластика вычерчивать как значки, так и границы. Оценочная карта Молдавии, созданная по такой методике, представлена на рис. 108.

Поскольку используемая аппаратура позволяет уменьшать или увеличивать ряд символов в любой пропорции, то из них можно выбрать всего лишь один и увеличивать его пропорционально величинам оценочных характеристик таксонов, устанавливающих иерархическую соподчиненность выделенных групп территориальных единиц. Для этого весьма удобным оказывается расчет средних по группе оценочных характеристик, основанных на величинах нормированных показателей (\hat{x}). Так для каждой территориальной единицы рассчитывается величина s (см. формулу (2.32)). Средние для групп территориальных единиц величины значений s позволяют дать этим группам качественные характеристики оценки природных условий, например как очень плохие, плохие, хорошие и т.д., а также количественно, хотя и в грубой форме, их сопоставлять. Для примера приведем средние оценочные характеристики для таксонов карт, изображенных на рис. 108–110. Так, для первой группы территориальных единиц данная величина равна 5,92; для второй — 5,02; третьей — 4,23; четвертой — 4,11; пятой — 3,93; шестой — 3,32; седьмой — 2,90.

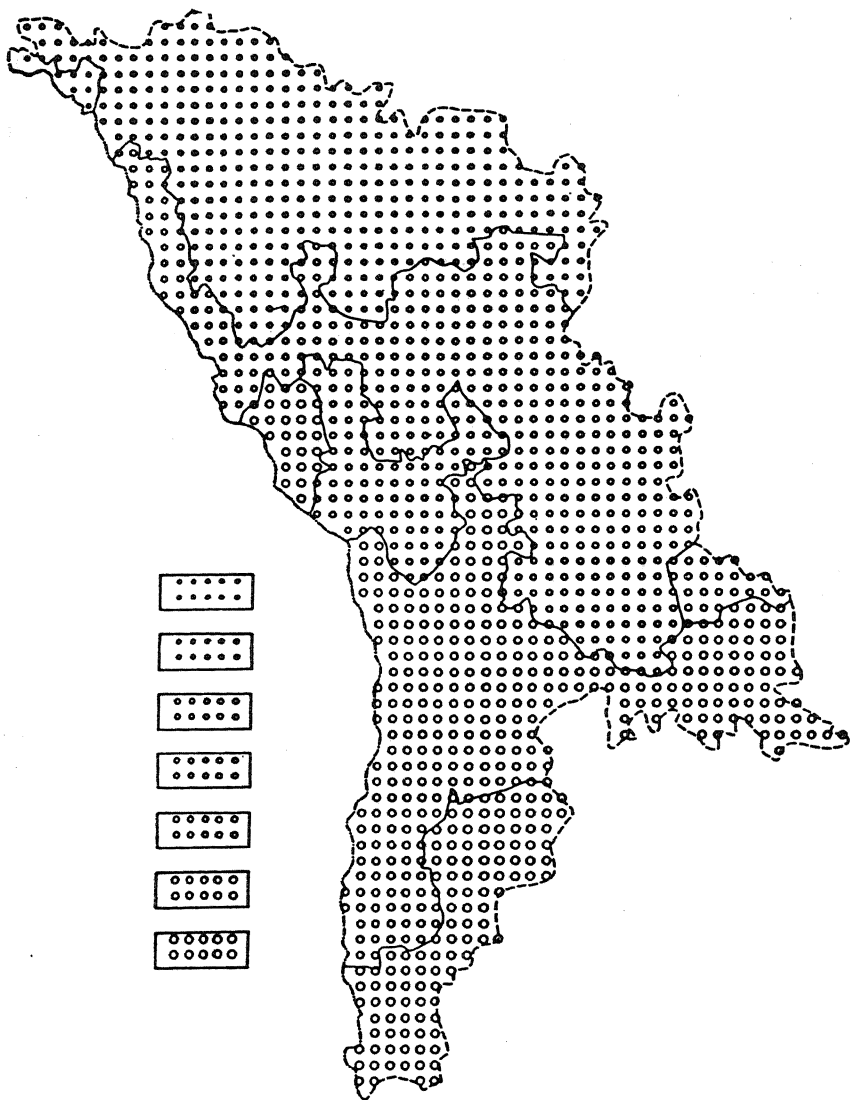


Рис. 109. Оценка природных условий для виноградарства Молдавии, оформленная кружками различного размера

Следует обратить внимание на оценочную характеристику третьей группы, представляющую собой часть Центрально-Молдавской возвышенности (Кодр). Она очень незначительно отличается от соответствующей характеристики следующей за ней группы территориальных единиц, особенно помня о приближенном характере показателя s . Оказывается, что лишь некоторые показатели третьей оценочной группы уступают соответствующим показателям четвертой группы. Более того, если несколько видоизменить набор показателей, связанных с орографическими характеристиками, то третья и четвертая оценочные группы могут меняться местами согласно шкале синтетических оценочных характеристик. Поэтому, сделав соответствующую оговорку, мы решили оставить выделенные таксоны так, как они образовались при формальной реализации алгоритма на основе имеющейся системы показателей. Выбрав для оформления карты Молдавии символ в виде кружка, размер которого пропорционален оценочным характеристикам, с помощью графопостроителя вычерчиваем результирующее изображение (рис. 109). Поскольку оценочные характеристики некоторых таксонов различаются мало, то и размер кружков на приведенном рисунке варьирует слабо.

Замена символов на штриховки также не представляет большого труда. Методика автоматизированного вычерчивания различных штриховок для тематических карт с применением графопостроителя "Calcomp" описана, например, в работе С.Н. Сербенюка (1977). Для этого, используя "видовые коды" таксонов, формируем из отрезков границ замкнутые полигоны оценочных групп территориальных единиц, т.е. координаты отдельных отрезков границ, объединяемых вместе, как бы образуют поток координат замкнутой линии. Такое представление необходимо для реализации данного алгоритма. Поиск отрезков границ в базе отредактированных данных для формирования замкнутых полигонов легко осуществляется на основе "видовых кодов". Соединение линий из отдельных отрезков производится по критерию минимальности расстояний между конечными или начальными координатами отрезков границ, т.е. к первоначальному отрезку границы будет добавляться поток координат той линии, координаты начала или конца которой будут меньше всего отличаться от крайних координат точек первоначального отрезка. В том случае если отрезок границы пристыковывается с конца, то естественно и координаты этого отрезка при добавлении к исходному переписываются как бы с конца. После того как замкнутый полигон полностью сформирован, необходимо координату по-

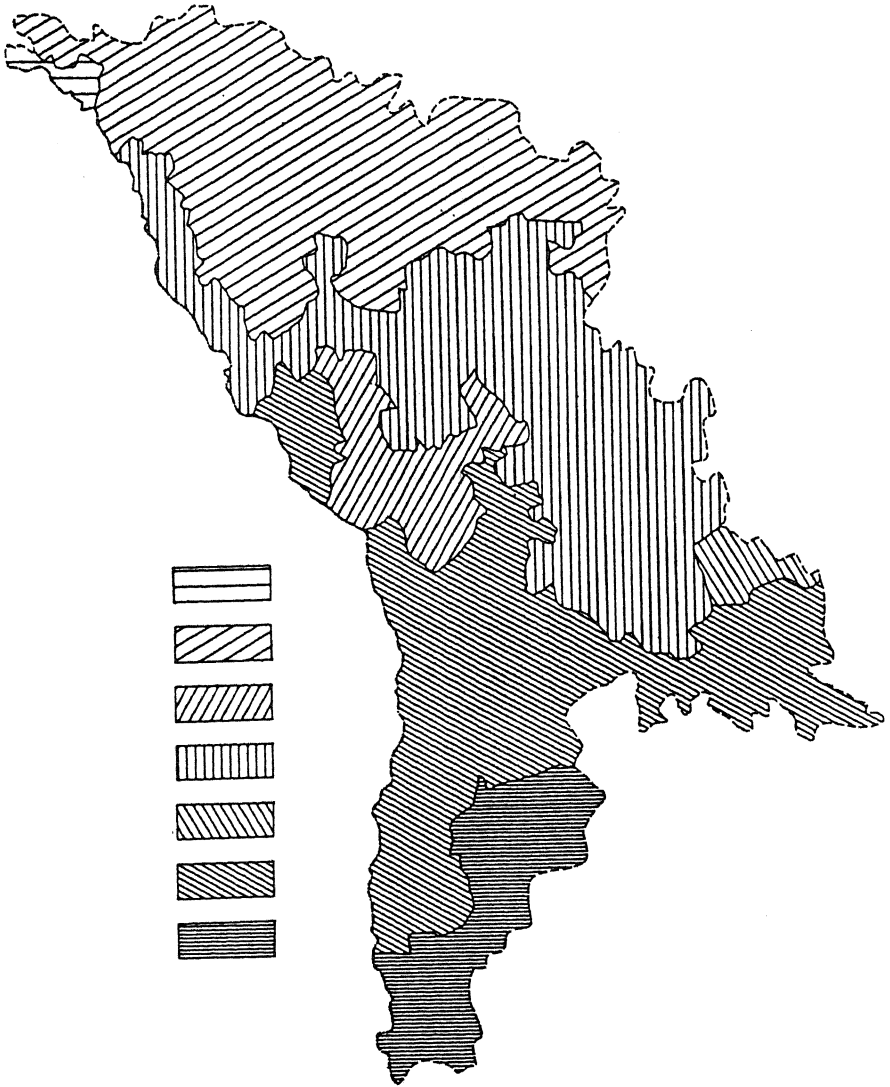


Рис. 110. Оценка природных условий для виноградарства Молдавии, оформленная штриховками

следней и первой точек идентифицировать, что требуется по условиям алгоритма.

Задав набор ориентировок штриховки, расстояний между штрихами и их толщины для каждого таксона, вычерчивается результирующее изображение (рис. 110). Следует отметить, что если так-

сон состоит из двух или более пространственно разделенных частей, то каждая часть представляется как отдельный замкнутый полигон, однако штрихуются все части таксона одинаково. Поскольку для карты Молдавии имелись приблизительные оценочные характеристики таксонов, то было поставлено условие, чтобы расстояния между линиями штриховок были бы им пропорциональны. Поэтому для ряда таксонов с близкими оценочными характеристиками расстояния между линиями штриховок различаются не очень сильно, и это потребовало вычерчивания штриховок при разных ориентировках. Ориентировка штриховок для соседних по величине оценочных характеристик таксонов различается на 30° . Изменять толщину линий в нашем примере было не целесообразно. Накладывая штриховки одна на другую при различных их ориентировках, можно получать самые причудливые узоры и муары, образцы которых показаны в книге (Жуков, Сербенюк, Тикунов, 1980).

Таким образом, весь процесс моделирования тематического содержания оценочной карты Молдавии и ее графического воспроизведения автоматизирован. Однако отдельные части данного процесса требуют участия в нем человека. На наш взгляд, это наиболее эффективно, когда человек не выполняет механических операций, но следит за ходом важных этапов процесса и в случае необходимости может в него вмешиваться.

VIII.3. АВТОМАТИЗАЦИЯ КАРТОГРАФИЧЕСКОЙ ГЕНЕРАЛИЗАЦИИ

В области автоматизации генерализации в предыдущие годы уделялось внимание пространственным чертам или содержательной стороне генерализации без особого внимания к их синтезу. Геометрическая (пространственная) сторона генерализации связана в первую очередь с отображением формы, размера и положения явлений в плоскости картографического изображения. Содержательная сторона генерализации может быть связана с обобщением количественных и качественных характеристик при построении шкал, агрегированием территориальных единиц при различных классификациях, переходом от частных понятий к собирательным и др.

Внимание исследователей прежде всего привлекала возможность формализации пространственной стороны генерализации. Однако сразу же следует отметить негативные тенденции: во-первых, примитивная трактовка проблемы — попытка штурмовать ее “в лоб”,

полагая, что элементарное упрощение приводит к искомому решению; во-вторых, рассмотрение процесса генерализации как процесса, лишенного объективности и, следовательно, не поддающегося формализации. Сказывается и тот факт, что, вопреки быстрому развитию отраслей тематического картографирования, специфика генерализации применительно к тематической картографии еще недостаточно изучена.

Иными словами, акцент лишь на пространственную сторону генерализации может привести к таким крайним позициям, когда, как в случае использования фильтрационной теории генерализации (Stegen, 1974), анализируется лишь рисунок, и он генерализируется без учета содержательных аспектов, что ведет к искажению столь характерного и легко узнаваемого фьордового побережья Норвегии и др. Аналогично содержательная сторона генерализации при учете пространственных аспектов лишь выигрывает. Так, классификация с целью создания синтетических оценочных карт может быть усовершенствована, если в процессе классификации будет учитываться пространственное положение исходных территориальных единиц. В частности, это ведет к автоматизации создания карт районирования.

То есть основная тенденция сейчас — это попытки оптимальной увязки пространственных и содержательных сторон генерализации. Таким образом, при проведении генерализации какого-либо рисунка не обойтись без учета содержательных аспектов, с ним связанных, и, наоборот, генерализация содержательной стороны должна зависеть от “рисунка” анализируемых явлений. Это может встречаться при всех разновидностях генерализации.

Из множества аспектов генерализации наиболее просто формализуется цензовый отбор. В этом случае устанавливается критерий (ценз), ниже которого явления на карте не показываются, например населенные пункты с людностью в тысячу жителей и менее. Формализовать такое требование для всей изучаемой территории легко. Несколько сложнее использование различных цензов для существенно различающихся территорий. Естественно, что для территории Рандстад Холланд, охватывающей район городов Амстердам, Роттердам, Гаага, Утрехт, Харлем, Лейден, Хилверсум и др., где плотность населения превышает 2 000 человек на 1 км², целесообразно использовать более высокий ценз, чем для финской Лапландии. Или отображение рек в бассейне Конго (Заир), где сеть рек и поверхностный сток велики, в отличие от рек сахарского типа (уэдов) с временным стоком и редкой сетью на огромных простор-

рах Сахары, естественно производить с использованием различных цензов, обусловливаемых количеством и важностью этих объектов для той или иной территории. В этих случаях для формализованного отбора требуется дополнительное указание регионов, генерализация объектов на которых должна вестись при различных критериях.

Несколько сложнее формализовать нормативный отбор, для целей которого разработана система правил, например с использованием “принципа корня” по Ф. Топферу (Töpfer, 1974). Данное правило определяет нагрузку карт как отношение суммы площадей всех объектов, изображаемых на карте, к ее площади. Разработка Э. Срники (Srňka, 1978) позволяет учитывать относительное значение и различия в качестве объектов при их генерализации. Данные исследования относятся не только к генерализации явлений, локализованных по пунктам, но и к линейным объектам.

Однако при рассмотрении линейных объектов дополнительно появляется необходимость в обобщении их очертаний. Зачастую это связывается со сглаживанием кривых линий с помощью функций, учитывающих изменение масштаба, назначения или тематики карты, и их смещением в определенных границах. Наиболее простой вид обобщения линейных объектов наблюдается уже при их цифровании, когда линии представляются наборами точек с измеренными значениями координат. При этом характерные точки линий, связанные с теми или иными особенностями явлений, фиксируются в обязательном порядке.

Нередко также использование оцифрованных точек для целей последующего сглаживания линий. Причем в этом случае можно указать как на механические приемы, в первую очередь базирующиеся на аппарате аппроксимации кривых различными функциями, так и на географически более оправданные подходы, претендующие на то, чтобы сохранять тип границ, форму кривизны линий и отдельных ее поворотов, типичные углы выклинивания, величину и повторяемость деталей в процессе автоматизированной генерализации.

В настоящее время для обобщения рисунка линейных и площадных объектов применяются не только методы, известные в других отраслях знаний, как, например, теория фильтрации, но и специально разработанные в пределах картографии алгоритмы. Укажем методику, основанную на географически достоверных критериях генерализации, таких, как сохранение общего характера

кривизны линий, закономерного для картографируемой территории (например, прямолинейность и угловатость границ, связанных с геологическими разломами, трещиноватостью горных пород и т.п.; фестончатость границ на склонах; эрозионный характер границ по балкам и междуречьям). Кроме того, сделаны попытки обеспечить при формализации сохранение точного положения основных структурных линий (общей границы природного рубежа, линий гребня, уступа и т.д.) и характерных точек, важных своим индивидуальным значением, что определяется заранее и координаты которых остаются без изменений в процессе генерализации.

При генерализации явлений сплошного распространения наиболее часто в качестве объекта исследования рассматриваются изолинейные изображения. Для этих целей создаются цифровые модели рельефа с последующим сглаживанием поверхности при помощи “скользящего среднего”, или аппарата пространственной аппроксимации. При этом выделяются три основных этапа: 1) отбор изолиний сообразно выбранной шкале; 2) схематизация, представляющая упрощение очертаний изолиний ради исключения деталей поверхности; 3) гармонизация, необходимая для сохранения характерных черт картографируемого явления, согласованности и равновесия между различными категориями объектов в процессе отбора и схематизации. Последний этап трудно формализуем и обычно осуществляется при непосредственном участии картографа при работе в режиме “человек—машина”.

Необходимость непосредственного участия картографа в проведении автоматической генерализации отмечается многими исследователями. Роль картографа возрастает с увеличением сложности задачи, особенно при переходе к генерализации систем картографических элементов, когда нужно учитывать значение элементов и характер взаимосвязей между ними.

В первую очередь это необходимо при генерализации площадных объектов, в отображении которых важно учитывать их размеры, особенности линии контура и другие параметры, многие из которых трудно формализуемы. Кроме того, здесь требуется введение в память ЭВМ матриц числовых данных, размер которых при шаге сканирования в 0,1–0,2 мм достигает даже для небольших карт десятков миллионов элементов.

Однако даже при генерализации вручную два картографа не проведут обобщения очертаний сколько-нибудь значительного фрагмента карты полностью идентично. Это дает основание некоторым

ученым считать, что генерализация субъективна. Однако непознанность еще не означает субъективизма. Генерализация в сущности своей объективна. Правильному с географической точки зрения обобщению очертаний способствует знание генезиса и характера развития географических явлений, что помогает сохранить в обобщенном рисунке типичную физиономичность конфигураций, соответствующих даже на картах мелких масштабов тому или иному типу берегов, орографических линий и т.д.

Сложность автоматизации процессов генерализации тем и объясняется, что рафинированное представление о генерализации, абстрагированное от географических знаний о генезисе изображаемого явления, часто выхолащивает сущность процесса и снижает практическую ценность результата. Между тем имеются данные, например, об истории и характере развития земной поверхности, которые не представляется возможным запрограммировать для генерализации. Поэтому задача решается в условиях неполной информации об объекте, которую человек в процессе поиска решения пополняет на основе имеющихся знаний и предшествующего опыта.

Действительно, для осуществления машинной генерализации необходимо, чтобы машина умела по очертаниям распознавать объекты и идентифицировать их типы (например, очертания береговых линий идентифицировать с понятиями “фьордовый тип”, “лиманый”, “риасовый”, “шхерный” и т.д.). Генерализация очертаний берегов каждого из названных типов может быть осуществлена в соответствии с рекомендациями, изложенными в инструкциях, которые представляют не что иное, как более или менее удачную попытку расчленения мысленного процесса на элементы и его формализованное словесное описание.

Велика должна быть роль экспертных систем при генерализации. Однако и в этом случае пока чувствуется доминирование пространственной стороны. Например, производится генерализация плана городских кварталов в зависимости лишь от их оригинального рисунка (Zhang, Li, Zhang, 1988) или примитивный взгляд на генерализацию как операцию по сокращению количества деталей, сообщаемых читателю, что иллюстрируется примерами генерализации дорожной сети и населенных пунктов (Zhao, 1988). По аналогии с предыдущими рассуждениями следует ожидать в области развития картографических экспертных систем таких разработок, которые бы позволили оптимизировать пространственные и содержательные аспекты картографической генерализации.

Автоматизация воспроизведения картографического изображения не является основной темой нашей книги, что определило краткость ее изложения и исключение многих важных частей, рассмотренных в специальной литературе по автоматизации в картографии (Сербенюк, Тикун, 1984; Monmonier, 1982; Yoeli, 1982; Carter, 1984; и др.).

ГЛАВА IX

ГЕОИНФОРМАТИКА И КАРТОГРАФИЯ

IX.1. ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

В последние годы в России заметно усилился интерес к геоинформатике, которая изучает принципы, технику и технологию получения, накопления, передачи, обработки и представления данных и как средство получения на их основе новой информации и знаний о пространственно-временных явлениях (Тикунов, 1989б, 1991в). Наибольшая активность проявляется в определении сферы деятельности и задач геоинформатики, а также в оконтуривании ее связей и границ с картографией. Одним из основных технологических средств геоинформатики являются географические информационные системы (ГИС).

Географические информационные системы стали разрабатываться более 30 лет назад, а первая реально работающая ГИС Канады (CGIS) появилась в начале 60-х гг. В бывшем СССР аналогичные исследования начались почти двумя десятилетиями позже и до сих пор работы зачастую связаны с адаптацией зарубежного опыта. Исторически ГИС в современном их понимании развивались на базе информационно-поисковых систем и позднее картографических банков данных. Информационные системы рассматривались как первый этап автоматизированного создания карт, позднее в функции ГИС (в их широком понимании) стали включать блоки математико-картографического моделирования и автоматизированного воспроизведения карт. Рассматривая карту как инструмент для географического анализа и выделяя подсистему пользователя (Копесну, Rais, 1985), ГИС стали охватывать и область использования карт. Большинство ГИС включают в свои задачи создание карт или используют картографические материалы как источник информации.

Несмотря на это задачи ГИС выходят за пределы картографии, делая их основой для интеграции частных географических и дру-

гих (геологических, почвенных и т.д.) наук при комплексных системных исследованиях, а особенно это подчеркивается при использовании модели знаний как основы создания ГИС. Такому широкому взгляду на ГИС иногда противопоставляется узкоинформационный, по существу технический подход, когда ГИС — система накопления и хранения географических данных, инструмент для фиксации и характеристики объектов земной поверхности, что являлось задачей географии прошлых веков, но лишь реализуется сейчас на современном компьютерном уровне.

Отметим, что мы будем различать комплекс показателей, или данные и информацию. Вслед за М. Конечным и К. Райсом (1985) будем считать данными изолированные показатели, понимаемые как сырье, которые путем обработки можно превратить в информацию. То есть данные являются как бы строительным элементом в процессе создания информации. Они рассматриваются как объект обработки и основа для получения информации. Этот вопрос детально рассмотрен в статье (Бердников, Тикунов, 1992).

Как же определяется ГИС в литературе? М. Конечный и К. Райс (1985, с. 9) считают, что “географическая информационная система — это система, состоящая из людей, а также технических и организационных средств, которые осуществляют сбор, передачу, ввод и обработку данных с целью выработки информации, удобной для дальнейшего использования в географическом исследовании и для ее практического применения”. А.М. Трофимов и М.В. Панасюк пишут: “Под геоинформационной системой понимается реализованное с помощью автоматических средств (ЭВМ) хранилище системы знаний о территориальном аспекте взаимодействия природы и общества, а также программного обеспечения, моделирующего функции поиска, ввода, моделирования и др.” (Трофимов, Панасюк, 1984, с. 35). Несколько отличен взгляд на ГИС “как интерактивные системы, способные реализовать сбор, систематизацию, хранение, обработку, оценку, отображение и распространение данных и как средство получения на их основе новой информации и знаний о пространственно-временных явлениях” (Тикунов, 1989б, с. 301). И.В. Гармиз с соавторами понимают ГИС “как аппаратно-программный человеко-машинный комплекс, обеспечивающий сбор, обработку, отображение и распространение пространственно-координированных данных, интеграцию данных и знаний о территории для их эффективного использования при решении научных и прикладных географичес-

ких задач, связанных с инвентаризацией, анализом, моделированием, прогнозированием и управлением окружающей средой и территориальной организацией общества” (Гармиз и др., 1989, с. 10). Мы видим, что принципиальных различий в данных определениях нет, хотя количество определений можно легко расширить до нескольких десятков.

Заметим, что мировой опыт развития ГИС привел к тому, что слово “географические” в их названии имеет смысл не обозначения науки, а характеристики пространственности. В этом случае нельзя поставить в один ряд географические, геологические, геофизические и т.д. системы. Отличие “географических” и “негеографических” информационных систем рассматривается в статье (Кошкарев, Тикунов, Трофимов, 1991).

Можно сформулировать основные требования, предъявляемые в настоящее время географами к ГИС (Тикунов, 1991б). Это прежде всего полнота, т.е. охват всех сторон информационного, программного, технического обеспечения, которые встречаются в процессе эксплуатации системы. Нам представляется, что структура баз данных и в территориальном и в содержательном планах должна имитировать структуру географических систем. Взаимосвязи между компонентами геосистем образуют стержень этих структур, и в ГИС они должны моделироваться и находить свое отражение. Только в этом случае можно надеяться на адекватность представления географических систем как целостных объектов в ГИС.

Система должна быть комплексной. Основное преимущество геоинформационных технологий по сравнению с традиционными методиками в возможностях совместного анализа больших групп параметров в их взаимной связи, что, естественно, очень важно для изучения сложных географических явлений и процессов. Необходимо естественная взаимная увязка блоков — ГИС должна имитировать технологию географических исследований. Система должна быть открытой, обеспечивая легкость модификаций и перенастраивания с целью ее поддержания на современном уровне не только разработчиками, но и, если потребуется, пользователями. Трансформации необходимы как для обеспечения эволюционности, так и для решения разных задач. ГИС должна соответствовать быстро совершенствующимся технологиям. Необходимо также поддержание современности технического, математического обеспечения и организационных структур. Следует обратить внимание на создание сетей, когда можно, не закупая весь интересующий пользо-

вателя программный продукт, иметь доступ к разным программам как бы на принципах взаимного обмена.

Требования будут меняться или расширяться в зависимости от конкретных назначений ГИС. Например, ГИС, создаваемые в коммерческих целях, иногда делают закрытыми, чтобы защитить продукт от незаконного копирования, использования и т.д.

Какова же структура ГИС? Прежде всего обратимся к базам данных. Представляется целесообразной следующая их организация. Во-первых, они должны обеспечивать территориальную привязку данных, поскольку ГИС имеют дело только с пространственно-координированными данными. Территориальная упорядоченность сведений важна не только с точки зрения унификации их сбора, но и установления оптимального соответствия размерам исследуемых систем. Наряду с данными, приуроченными к точкам и линиям, поточно фиксируемыми координатами, иногда они привязываются к сетке административно-территориального деления или природным контурам, например к речным бассейнам. Хорошие результаты дает привязка к ландшафтной основе.

Что касается ГИС, то для структурирования данных применяется большое число способов, объединяемых в растровый и векторный форматы, с возможностью перехода из одного в другой или их совмещения (Мараховский, Тикуннов, 1990; Тикуннов, 1991в; Samet, 1990; и др.).

С целью обеспечения возможности совмещения отдельных участков территории разработана глобальная система пространственной привязки данных, основанная на использовании географической широты и долготы (Tobler, Zi-Tanchen, 1986).

Тематические сведения в настоящее время организуются в виде отраслевых блоков, например для комплексной характеристики системы “общество—природная среда” это могут быть: геолого-геоморфологический, климатический, гидрологический, почвенный, растительного и животного мира, а также экономический и социальный блоки. Такой набор отраслевых данных позволяет переходить к интегральным показателям оценки состояния природной среды, характеристикам комплексных антропогенных воздействий или характеризовать любую из систем.

С целью изучения пространственно-временных аспектов развития географических систем важна организация данных с показом ретроспективы и прогноза развития этих систем. Необходимо также упорядочение сведений о временных рядах, их согласованности между собой. Причем не везде требуются одина-

ковая цикличность и единовременность сбора сведений. Например, показатели социального блока гораздо более динамичны по сравнению с геологическим строением изучаемой территории. Хотя известны случаи, когда и геологические объекты под влиянием действий человека приходят в движение, хотя бы в результате ядерных взрывов. Можно организовать некоторое подобие квадратомического дерева (quadtree) (Waugh, 1986; Samet, 1990; и др.) для организации временных сведений. При возможности следует хранить информацию об источниках данных и оценке их достоверности.

Каждая из указанных выше структур может быть иерархической, сетевой или реляционной. Иерархическая структура устанавливает соподчиненность территориальных единиц, тематических показателей, временных периодов. Сетевая структура учитывает сочетания и причинно-следственные связи явлений. Здесь любой элемент может быть связан с любым другим. Реляционные структуры не имеют иерархии и представляют данные в виде двумерных таблиц. Причем связь между элементами данных не теряется. Последний подход удобен тем, что с ростом базы данных, что зачастую ведет к изменениям логического представления данных, не требует изменения программ, управляющих базами данных.

Система управления базами данных — это сердце всего комплекса. Она представляет собой совокупность программных и технических средств, обеспечивающих функционирование ГИС: обеспечиваются возможность ввода информации, ее накопления и обновления, способов хранения, поиска и переработки информации, форма выдачи материала потребителю и организация диалога с ним.

Часть описанных задач имеет более или менее технический характер. Другие же, наоборот, требуют их рассмотрения с точки зрения решения географических проблем. Например, переработка информации в блоке моделирования. Это могут быть простая перекодировка данных с целью обеспечения функционирования техники или приведение данных к сопоставимому виду, восстановление пропущенных значений и др. Сюда же относится синтезирование различных показателей, например для получения интегральных оценок состояния природной среды, типов и степени антропогенного воздействия и др. В этих случаях блок моделирования становится далеко не тривиальным и требующим привлечения различных видов моделирования, например математико-статистическо-

го, имитационного, оптимизационного, математико-картографического и т.д. Расчет по соответствующим программам требует содержательной оценки получаемых результатов, т.е. специальных географических знаний.

Возможна разнообразная форма выдачи материала потребителю: в виде распечаток на бумаге, таблиц, сводок, выборок, файлов на машинных носителях, а может быть в виде схемы или карты. В последнем случае мы получаем одно из основных традиционных средств исследования территории в географии. В этом случае требуются учет оптимальности выбора способов картографического изображения явлений, оперативность получения материала, наглядность и способность технических средств к их графическому воспроизведению.

Традиционно карты расчерчивались или печатались на бумаге. Способы автоматизированного изготовления карт многообразны. Основными из них являются вычерчивание карт на графопостроителях и отображение на экранах дисплеев. В последнее время наиболее широко, для оперативных целей, карты выводятся на экран дисплея. Это позволяет опробовать множество вариантов изменения содержания карт и способов их оформления. Но что особенно привлекательно, такая методика удобна для показа динамики явлений. Это могут быть картографические фильмы, когда одна карта сменяя другую помогают уяснить ход процесса. Это может быть и анимация отдельных знаков, например мигание или перемещение по экрану отдельных точек или знаков (Беручашвили, 1989). Немаловажно и то, что изображение с экрана может быть скопировано на бумагу, т.е. могут быть получены так называемые "твердые копии". Широкое распространение персональных компьютеров, способных передавать сотни оттенков цветов, делают этот безбумажный способ картографирования очень популярным.

Существуют различные аспекты классификации ГИС. Например, в книге (Кошкарёв, Каракин, 1987, с. 37) упоминается подразделение по территориальному охвату (общенациональные и региональные ГИС); по целям (многоцелевые, специализированные, в том числе информационно-справочные, инвентаризационные, для нужд планирования, управления); по тематической ориентации (общегеографические, отраслевые, в том числе водных ресурсов, использования земель, лесопользования, туризма, рекреации и др.).

В качестве практического материала изложим опыт построения географической информационной системы на фоне много-

численных методологических и практических разработок, осуществляемых в последние годы в России. На этот процесс оказывает определенное влияние наличие ориентиров целого ряда западных разработок, где гораздо раньше начали исследования в этой сфере. Причем намечаются, как минимум, три главных подхода: освоение уже пройденного пути и адаптация известных средств для собственных нужд; комплексирование своих разработок с известными западными программными продуктами и, наконец, “наработки с нуля”, т.е. полная ориентация на собственное математическое обеспечение при создании ГИС. Крайние позиции ведут или к полному заимствованию западных концепций, методологии и даже терминологии, не внося ничего нового, а лишь тиражируя эксперименты, или к созданию собственных уникальных технологий, широкое распространение которых затруднено при отсутствии компьютерных сетей, обменных форматов, да и зачастую несовместимости технических средств.

Все это привело нас к заключению о необходимости создания ГИС на основе модульной схемы, легко трансформирующейся в зависимости от конкретных задач, разработки собственного программного обеспечения с учетом зарубежного опыта эксплуатации близких по назначению систем с ориентацией на широко доступные вычислительные средства — персональные компьютеры IBM PC AT (операционная система MS DOS) с комплексом периферийных устройств.

Задача нашей ГИС (Борисов, Громов, Тикунов, 1992), названной “AIRPOLL”, состояла в организации хранения, поиска и визуализации пространственно координированных материалов, пополнении и защите баз данных, подборе способов структурирования пространственных данных. Составными частями системы являются блок моделирования и средств построения оперативных компьютерных карт.

Центральным блоком системы стал банк данных, обеспечивающий сведениями о пространственной привязке данных, организации их содержательного набора и для фиксации источника поступления данных, их достоверности и временной привязки. Естественно, что все три компонента неразрывно взаимосвязаны между собой и функционируют благодаря системе управления базами данных.

Пользователь может задать (и занести в базу данных) типовые конфигурации расчетных параметров, отражающие специфику конкретного промышленного предприятия и прилегающих к нему

территорий. Например, может быть задан набор типовых расчетных площадок (участков территории, для которых моделируется распространение воздушных загрязнений), характерные сочетания метеорологических условий, типовые группы источников загрязнения и т.п. Это даст возможность легкого и быстрого задания исходных данных для программ моделирования.

Средства работы с базами данных и программы организации диалога с пользователем в совокупности представляют собой информационную систему, которая является составной частью ГИС "AIRPOLL". Работа с ней осуществляется с использованием иерархической системы меню. Таким образом, на каждом этапе диалога пользователь может осуществить выбор вида работ из числа предлагаемых ему системой. Примерами служат следующие виды работ: редактирование расчетных параметров, просмотр списка загрязняющих веществ, построение карты на экране монитора, просмотр результатов расчета в виде таблицы, обращение к программам блока моделирования и т.д.

В случае каких-либо затруднений пользователь может получить необходимые разъяснения со стороны системы, выдаваемые на экран монитора. Следует отметить, что содержание пояснений зависит от вида работ, выполняемых пользователем в момент запроса о помощи. Например, если пользователь запросит помощь при редактировании значения того или иного расчетного параметра, то на экран будет выдано текстовое сообщение с описанием данного параметра и указанием его возможных значений. Возможно также объяснение методики вычисления некоторых исходных характеристик или даже их смысла. Так, при характеристике Oroграфических особенностей анализируемой территории, расположенной на склоне хребта, можно будет получить справку о том, с наветренной или подветренной (по отношению к преобладающему направлению) стороны она расположена и даже построить графическую картинку, разъясняющую пользователю, чем различаются наветренный и подветренный склоны.

Блок моделирования предоставляет несколько возможностей. В нашем случае он ограничивался моделированием загрязнения воздуха, которое в настоящее время развивается в трех направлениях, исповедующих разные подходы, методы решения и имеющих разное применение:

— модели дальнего и трансграничного переноса, характеризующиеся пространственными масштабами порядка тысяч км, периодами осреднения результатов от 5 суток до года и применяющиеся

в основном для научных исследований и предварительных оценочных прогнозов в неоперативном режиме;

— модели регионального загрязнения, анализа и прогноза загрязнения воздушного бассейна от большого комплекса источников для областного масштаба, разрабатываемые для подготовки проектов и планов охраны окружающей среды с точки зрения проведения комплексов технических и инвестиционных мероприятий;

— модели оперативных расчетов локального рассеяния (предприятия, город) — наиболее распространенные и необходимые в настоящее время — для оценки влияния конкретного или проектируемого источника на уровень загрязнения воздуха прилегающей территории, характеризующиеся малыми временными и пространственными масштабами, большой оперативностью, унификацией по отношению к входным параметрам, объективностью и проверяемостью результатов.

Именно последняя разновидность моделей применена в системе "AIRPOLL". В настоящее время реализована схема расчета воздушного загрязнения территории, построенная по наиболее известной стандартизированной и широко применявшейся в экс-СССР "Методике расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий" (ОНД-86), разработанной в Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова и ориентированной на анализ конкретных ситуаций. Данная модель позволяет рассчитать концентрации большого ряда веществ с двадцатиминутным осреднением при введении реальных измерений метеорологических параметров с учетом особенностей конкретной территории, выбирать интересующий участок, проводить прогнозные расчеты для групп источников. Модификация модели позволяет по заданным критериям концентраций рассчитывать предельно допустимые выбросы при разных метеоусловиях.

В дальнейшем блок моделирования предполагается укомплектовать программами алгоритмов, реализующих рекомендуемые Всемирной метеорологической организацией методы расчета концентраций. Их математической основой является использование для определения интенсивности рассеивания гауссовых формул профилей концентраций и эмпирических параметров состояния атмосферы. Модели позволяют рассчитывать концентрации от непрерывного источника при постоянном направлении ветра, средние концентрации за длительные периоды при использовании статистической инфор-

мации о метеопараметрах, анализ распространения мгновенного выброса значительной мощности. Практически все из перечисленных возможностей необходимы для анализа экологической обстановки в районе предприятия, определения границ санитарной зоны и создания оперативной системы реагирования и безопасности при аварийных ситуациях.

Существенна также роль блока, названного нами картографическим. Он позволяет представлять исходный материал, хранящийся в базе данных, в виде серии электронных карт. Картографическое представление исходного материала облегчает его анализ с точки зрения возможных ошибок и пропусков, его пригодности для моделирования.

Реализован комплекс программ для картографирования результатов моделирования воздушного загрязнения. Это прежде всего построение изолиний различной концентрации загрязняющих веществ на фоне картографической основы. В нашем случае оцифрованная картографическая основа достаточно проста и имеет оверлейную структуру. Оцифрованы границы населенных пунктов, пути сообщения, гидрографическая сеть, границы лесов, линии электропередач и наиболее детально промышленные площадки предприятий, загрязняющие окружающую среду, а также все пункты выброса веществ в атмосферу. Набор объектов основы может быть дополнен или сокращен.

Основное достоинство таких карт — оперативность их построения при многократном использовании программ моделирования. Это позволяет сравнивать разные варианты расчетов, как бы накладывая их один на другой, визуально оценивать последствия возможных критических залповых выбросов и т.д.

Предусматривается также возможность построения синтетических карт, например оценки состояния природной среды, степени нарушенности ландшафтов и т.д. Основной частью процесса создания таких карт является моделирование их тематического содержания, требующего специального набора показателей и применения для расчетов многомерных математических моделей, а в сложных случаях — средств математико-картографического моделирования.

Собственно воспроизведение таких синтетических карт чаще всего требует использования для их графического отображения способов качественного или количественного фона, что может быть реализовано на экране монитора в цветном или черно-белом виде. Реже могут быть использованы бесступенчатые шкалы или изоли-

нии для отображения условных рельефных поверхностей, например уровней суммарного загрязнения почвы и т.д.

Картографические изображения помимо их воспроизведения на дисплее могут выдаваться на принтер или цветной графопостроитель (за исключением случаев анимации знаков), а также храниться в упакованном виде в банке данных. Для целей автоматизации построения карт легко могут быть использованы методики воспроизведения всех способов картографического изображения (Сербенюк, Тикунов, 1984; Yorli, 1982; Carter, 1984).

Описанная географическая информационная система в большинстве блоков создана на основе материалов экологического обследования одного из химических предприятий в Восточной Сибири.

IX.2. ЭКСПЕРТНЫЕ СИСТЕМЫ

В традиционных географических исследованиях используются разнообразные средства как при информационном обеспечении, так и на других рассмотренных этапах. Достаточно универсальным средством, обеспечивающим широкий круг задач, стали экспертные системы. Экспертную систему можно определить как “систему искусственного интеллекта, использующую знания из сравнительно узкой предметной области для решения возникающих в ней задач, причем так, как это делал бы эксперт-человек, то есть в процессе диалога с заинтересованным лицом, поставляющим необходимые сведения по конкретному вопросу” (Экспертные..., 1987, с. 5).

Чтобы рассмотреть суть экспертных систем, следует определить некоторые понятия, прежде всего данные и их отношение к знаниям. Так, если ранее в задачи обработки на ЭВМ входило оперирование с данными, причем смысл манипуляций понимал человек, то, задавшись целью создать программы, способные анализировать семантику (смысл) используемых данных, необходимо обращение к базам знаний. Такие программы способны производить логические цепочки на основе ранее полученных выводов, пропуская знания как бы через эти выводы, проверяя их логичность, уточняя и строя более тонкие конструкции. Если полученный результат будет явно противоречить здравому смыслу, то при алгоритмическом пути это безразлично ЭВМ, но в экспертной системе такое положение не может остаться незамеченным.

Вообще знания принято разделять на предметные, или общедоступные, и индивидуальные, или эмпирические (Построение...,

1987; Элти, Кумбс, 1987). К общедоступным относятся наборы фактов, например в учебниках и другой литературе, а индивидуальные зачастую носят эмпирический характер, основанный на правилах и подходах, которые эксперт иногда даже не может четко или однозначно сформулировать, — их называют эвристиками.

Для экспертных систем необходимы три компонента (Экспертные..., 1987; Элти, Кумбс, 1987): факты, правила (процедурные знания) и управляющие структуры. Фактические знания сообщаются экспертной системе экспертом-географом в процессе диалога и отражают взгляды человека на момент работы. Процедурные знания, или правила, тесно связаны с фактическими, но являются как бы накопленными знаниями, на основе которых вырабатывались правила, определяющие, как будет вести себя система, и, наконец, управляющие знания позволяют подбирать наилучшую стратегию в работе системы.

Здесь мы подошли к необходимости описать всю структуру экспертной системы, которая, как правило, состоит из 4–5 компонент: базы знаний, машины вывода, системы накопления метазнаний (т.е. знаний второго уровня для самообучения системы), системы объяснений и общения с пользователем. Более детальная, “идеальная” схема экспертной системы приведена в книге (Построение..., 1987), хотя реальные работающие системы могут содержать лишь некоторые ее элементы.

Рассмотрим упрощенную схему экспертной системы. Что касается базы знаний, то к ее рассмотрению мы уже подошли вплотную. Знания в базе знаний в отличие от данных требуют и иного их представления, для чего используются семантические сети с произвольной структурой, а также более регуляризованные сети — фреймы. Фреймы выражают общие понятия, а слоты, или ячейки, дают их детализацию, что приводит к типичной иерархической структуре. Поясним суть фреймового представления знаний на примере оценки состояния природной среды с точки зрения ее антропогенной трансформации и прежде всего загрязнения. Образовав фрейм “состояние природной среды”, в качестве слотов, мы можем использовать “степень загрязненности атмосферы”, “загрязнение подземных и поверхностных вод”, “состояние геологической среды”, “состояние почвенного покрова”, “состояние растительного и животного мира” и др.

Каждый слот кроме имени может иметь одно или несколько значений (качественных или количественных), например, “выбросы

вредных веществ предприятием в атмосферу” → “изобутилен”, “200”, “600”, “400”, “600”; “этиленгликоль”, “40”, “70”, “60”, “80” и т.д. При характеристике выбросов изобутилена, этиленгликоля и т.д. первое числовое значение может определять фоновые, второе — максимальные концентрации, третье — реальные, а четвертое — предельно допустимую концентрацию. В качестве слота могут использоваться сложные структуры, включающие иерархию слотов более низкого порядка.

Так, в слот “выбросы вредных веществ предприятием в атмосферу” можно включить “состояние атмосферы”, который в свою очередь будет характеризоваться “скоростью ветра”, “распределением температур”, “стратификацией атмосферы” и т.д. Изменяя содержание слотов, преобразуется вся семантическая структура в зависимости от конкретных целей, например, связанных с выработкой рекомендаций по охране природной среды.

В настоящее время наибольшее распространение получают так называемые “продукции”. Как описал академик Г.С. Поспелов (1988), “продукции” можно представить в виде выражения “если — то”, например если содержание углеводов в выбросе в атмосферу превысит предельно допустимую концентрацию (ПДК) в 100 раз, то это может привести к экологической катастрофе. Для получения выводов, “продукции” могут образовывать сложные цепочки. Кроме описанного ядра “продукции” допускают использование пред- и постусловий, разрешающих или запрещающих применять данное условие, а также определяющих, необходимо ли изменять что-либо в базе знаний в зависимости от результата выполнения процедуры “если — то”.

Поясним использование языка “продукций” на примере. Если поставить условие, чтобы химический комбинат (*i*) увеличил выпуск каучука из изопентана на 10%, то объем выброса в атмосферу изопрена приведет к превышению нормы ПДК. Тогда постусловие должно изменить объем увеличения продукции или сделать предположение о возможности увеличения производства каучука на предприятии (*j*). В принципе если поставить вопрос о пересмотре ПДК, тогда “продукция” будет описывать иную ситуацию.

Изменив немного условия, перейдем к другой задаче, которую сформулируем по аналогии с примером из книги (Портянский, 1989). Допустим, поставлено условие: найти место для размещения завода (*A*) по производству алюминия (объем производства 100 тыс. т в год). Для этого желательно выполнение следующих условий: P_1 —

залежи бокситов удалены не более чем на 500 км; P_2 — добыча бокситов не менее 400 тыс. т в год; P_3 — производство из бокситов не менее 200 тыс. т глинозема; P_4 — наличие значительных энерго-ресурсов; P_5 — район размещения завода — Закавказье; P_6 — город, где будет завод, должен обеспечить полное укомплектование персоналом (700 человек). “Продукция”, описывающая ситуацию для места (i) , такова: $(i) p, p_6 (N > 700), A \rightarrow B, (i), Q$, где P определяет выполнение первых пяти условий размещения предприятия (A) , т.е. $p = p_1 \# p_2 \# p_3 \# p_4 \# p_5$; P_6 определит, достаточно ли свободных трудовых ресурсов (более 700 человек), B фиксирует пригодность пункта (i) для размещения завода, а Q определяет условия в связи с тем, что в пункте i будет завод.

Применение “продукции” упрощает диалог и объяснения пользователю, почему принято то или иное решение. Соответствующие примеры показаны в книге (Портянский, 1989). Для подчеркивания сильных сторон фреймов и “продукций” возможен их синтез (Поспелов, Поспелов, 1985), например “продукции” в качестве слотов во фреймах.

Важной особенностью экспертных систем является возможность работать с “нечеткими” данными (Zaden, 1965; Rolland-May, 1987; Тикунов, 1989а), но и, что самое главное, с “нечеткими” знаниями. Используя комбинации элементов знаний, можно прийти к вполне определенным заключениям, т.е. даже на основе ненадежных данных есть возможность получать правдоподобные выводы. “Нечеткость” определений, которыми оперирует географ, ведет к “нечеткости” знаний. Например, обратившись к понятию “широкая река”, мы отчетливо представляем, что для разных людей этот размер может варьировать в значительных пределах. Для характеристики фактов используется “нечеткая” логика, разработаны коэффициенты уверенности для измерения степени доверия к любому заключению (Экспертные..., 1987).

Другим важным элементом экспертной системы является машина вывода. “Машина логического вывода является универсальной думающей машиной, а база знаний — это то, над чем ей предстоит думать” (Экспертные..., 1987, с. 65). То есть в ответ на запрос система способна строить логические выводы и на их основе приходиться к заключениям. Здесь проверяется выполнимость условий конкретной ситуации по отношению к имеющимся правилам и подбирается путь их удовлетворения. Причем в отличие от традиционных алгоритмов, осуществляющих механический перебор всех правил, в экспертной системе пространство поиска сужается за счет

того, что, как и человек, ЭВМ должна ожидать, что же ей встретится. Например, анализируя видовой состав смешанных и широколиственных лесов средней полосы европейской части СССР, географ ожидает встретить ель, березу, дуб, липу, клен, но не пальмы или мангры, перебор которых для анализа противоречит здравому смыслу.

Процедуру получения выводов путем анализа фреймов, или “продукций”, называют прямой стратегией. В том случае, если человек выдвигает гипотезы (а делает это он, как правило, с охотой) — ЭВМ их проверяет (что проще для машины), то мы переходим к обратной стратегии. Используются и смешанные стратегии, когда машина выдает ряд вариантов решения, а экспертная система именно так и поступает, выбрав из них какое-нибудь одно, оно анализируется с помощью обратной стратегии. Естественно, что этот путь будет неоднозначным, причем могут добавляться новые значения и т.д.

Блок накопления метазнаний проверяет непротиворечивость вновь поступающих сведений имевшимся правилам. Достигается это путем проверки семантической непротиворечивости, а также автоматическим тестированием. Проверка семантической непротиворечивости определяет согласование вносимых изменений правилам базы знаний, а автоматическое тестирование проверяет нововведения на большом количестве задач, чтобы оценить, сколь положительно они влияют на работу экспертной системы (Построение..., 1987). Иногда в случае конфликтных ситуаций требуется пересмотр правил. Здесь применяются различные степени доверия для потенциальных решений, чтобы они не противоречили здравой логике, хотя сделать это не всегда просто.

На наш взгляд, в этом деле может оказаться целесообразным характеристика не отдельных явлений, а их классов, когда конкретная ситуация сравнивается с типичными примерами. Допустим, географ, классифицируя типы берегов (риасовый, шхерный, фьордовый), как бы сравнивает их с идеальными моделями: фьорды — узкие, глубоко вдающиеся в сушу клинья и т.д. Но экспертная система не ограничивается алгоритмической классификацией и учитывает семантику. Классифицируя географические объекты “Москва”, “Орел”, “Брянск”, человек легко сгруппирует их в города, но Москву в сочетании с Волгой и Леной отнесет к рекам, а слова “Орел”, “Сокол”, “Ястреб” объединит в группу хищных птиц и т.д., то же должна уметь делать эвристическая программа. Географ постоянно работает с нечетко указанными объектами.

Более того, иногда требуется и не совсем “логичное” заключение. Например, анализируя уровни социально-экономического развития стран по ряду формальных критериев, в том числе таким, как национальный доход на душу населения, число автомашин на 1 тыс. жителей и др., Кувейт должен быть отнесен к числу ведущих стран, но эксперт-географ, сильно занизив его оценку, не выглядит странным. Также должна поступать и экспертная система, выводя одни правила из других, и приходиться к заключениям, получить которые из формальной логики невозможно.

Еще один характерный момент для экспертной системы. Так как правила, создаваемые одним географом, чаще всего сильно отличаются от того, как это делает другой специалист, то экспертная система как бы становится “вторым я” того или иного ученого, копируя его стиль работы.

Система объяснений используется для того, чтобы разъяснить пользователю, как экспертная система пришла к тому или иному конкретному выводу. При этом в процессе работы пользователь может задавать дополнительные вопросы о получении промежуточных результатов, уточнять цели, инспектировать правила с точки зрения их согласования между собой и соответствия поставленным целям и др. “Метод рассуждения, который не может быть объяснен человеку, является неудовлетворительным, даже если с ним система работает лучше, чем специалист” (Экспертные..., 1987, с. 19).

Как правило, система объяснений делает трассировку хода проведения рассуждений в обратном порядке от того места, к которому относится вопрос, или от конечного результата. Каждый шаг рассуждения подкрепляется выводами из правил базы знаний. Экспертная система объясняет также, почему она не пошла другим путем — какие правила базы знаний этот путь заблокировали. Объяснения экспертной системы помогают пользователю совершенствовать базу знаний, показывая слабые места, ведущие к неправильным выводам. Пример работы экспертной системы и блока объяснения логики решений приведен в книге (Портянский, 1989).

Система общения пользователя с экспертной системой должна быть максимально удобна для человека. В настоящее же время “хозяин ЭВМ вынужден разговаривать со своим слугой на языке слуги”. В этом плане особенно привлекателен проект разработки ЭВМ пятого поколения, которые будут в состоянии воспринимать

естественный язык, например ограниченный английский, графические изображения, карты, фотоснимки и др.

Экспертные системы могут сильно отличаться своей конфигурацией в зависимости от целей их создания, имеющихся технических средств, объема данных и знаний. При этом важной является возможность комбинирования экспертных систем с математическими моделями, служащими для алгоритмических вычислений.

В обобщающих работах по экспертным системам выделяют несколько их типов (Построение..., 1987; Экспертные..., 1987): интерпретирующие, позволяющие на основе наблюдаемых фактов делать описания и выводы; прогнозирующие — выводящие следствия из совокупности состояний исследуемых явлений, например прогноз погоды, урожайность сельскохозяйственных культур и др.; диагностики, прежде всего в медицине; проектирования — в строительстве; планирования; мониторинга; ремонта; обучения и др.

Возможности применения экспертных систем применительно к географическим исследованиям описаны в ряде работ (Goldberg, Alvo, Karam, 1984; Ripple, Ulshoefer, 1987; Беручашвили, Кевхишвили, 1989; Тикунов, 1989в; и др.). Более широко они стали использоваться в следующих областях (Fisher, Mackaness, Peasegood, Wilkinson, 1988): прежде всего для совершенствования эксплуатации географических информационных систем при управлении базами данных, в процессе принятия управленческих решений, некоторых картографических вопросов (Robinson, Frank, 1987). Применение экспертных систем позволяет сделать географические информационные системы более эффективными и легче используемыми, обучать малоопытных пользователей работе с ними, совершенствовать поиск информации в больших массивах данных и др. (Peuquet, 1984; Robinson, Frank, Blaze, 1986; Bouille, 1987). Имеется опыт соответствующих работ с использованием материалов дистанционного зондирования (Estes, Sailer, Tinney, 1986; Goldberg, Alvo, Karam, 1984; Matsuyama, 1986); для нужд картографии (Васмут, 1986; Jackson, Mason, 1986; Fisher, Mackaness, 1987; Bossler, Pendleton, Swetnam, Vitalo, Schwarz, Alper, Danley, 1988; Schenk, 1988), в том числе для автоматизации процесса генерализации (Nickerson, Freeman, 1986; Zhang, Li, Zhang, 1988; Zhao, 1988); целей мониторинга ландшафтов (Беручашвили, Кевхишвили, 1989), пожаров (Davis, Hoare, Nanninga, 1986) и др.

Важны классификационные аспекты географии, и здесь роль экспертных систем в решении неподдающихся математической

формализации и сложных для логического анализа задач может быть велика, например в случае типизации географических ситуаций, применения метода ситуационного управления (предложенного проф. Д.А. Поспеловым), и в частности, в географии при разработках геоситуационного направления (Трофимов, Панасюк, 1982).

Типология геоситуаций необходима для выработки правил, фактов и связей в соответствующих базах знаний, формируемых на основе знаний экспертов. Построенные на базе типов геоситуаций сценарии позволяют в каждом конкретном случае обращаться не к перебору нескольких вариантов, а идентифицировав тип, анализировать структуру соответствующих географических образований по отношению к характеристикам их типа. В дальнейшем экспертные системы смогут определять структуру геоситуаций и рекомендовать мероприятия для их целенаправленных трансформаций или консервации, например, с целью выработки рекомендаций по охране окружающей среды и т.д.

Одно из интересных приложений экспертных систем может состоять в их применении не только для обучения отдельным географическим дисциплинам с использованием опыта наиболее известных преподавателей (безгранично расширив их аудиторию), но и служить в качестве “интеллектуального интерфейса” для связи, например, с вычислительными пакетами программ, с которыми пользователь мало знаком, т.е. быть своеобразным гидом.

Наконец, несколько слов о технических средствах. Естественно, что чем совершеннее будет техника, тем удобнее ее использовать для создания экспертных систем, однако в жизни немало примеров, когда эффект от использования дорогостоящей аппаратуры недостаточен. Поэтому в полной мере можно согласиться с авторами книги (Экспертные..., 1987), когда они пишут: “Самым правильным будет воспользоваться тем языком, который вы знаете, на машине, которая у вас есть... Нет необходимости дожидаться реализации мечты о создании машин пятого поколения... Машины типа IBM PC или Apple MacIntosh, особенно снабженные жестким диском, будут самыми подходящими” (Экспертные..., 1987, с. 22). Коммерческая и научная информация об экспертных системах, аппаратуре, рынках сбыта, новых технологиях полно представляется в журнале “Expert Systems”.

С распространением экспертных систем в географии специалисты получают возможность использовать технику для уточнения, распространения, пропаганды, а главное, получения новых индивидуаль-

ных знаний, сопоставлять между собой конечные и промежуточные выводы при несовпадающих мнениях. Кстати, географы, обходившиеся в своей работе без математических методов и расчетов на ЭВМ, смогут использовать вычислительные машины без применения алгоритмических подходов. Роль специальных знаний еще более поднимется, а их передача от “учителя к ученику” станет более легкой, улучшатся сохранность накопленных знаний и возможность их дальнейшего пополнения и совершенствования. Для географов особенно важно, что наиболее ценной и дорогостоящей частью в экспертных системах оказываются географические знания. В целом же экспертные системы могут рассматриваться как одно из самых мощных средств географических исследований в ближайшей перспективе.

В качестве примера приведем разработку прототипа экспертной системы для оценок возможностей экологически безопасного размещения того или иного производства (Богомолов, Борисов, Красовская, Тикунов, 1992). Они определяются как применяемыми технологиями самого производства, так и существующим на избранной территории сочетанием комплекса природных и антропогенных факторов: климатических, геоморфологических, геохимических, демографических и т.п. Задачей муниципальных и региональных органов управления, которым принадлежит территория будущего строительства предприятия, является решение второй задачи, т.е. предварительная экологическая экспертиза возможности осуществления строительства по предложенному проекту без ущерба природной среде.

Для этих целей можно полагаться на результаты государственной экологической экспертизы. Однако большие компетентные экспертные группы организуются, как правило, с целью рассмотрения только крупных проектов, организация их сложна, экспертиза занимает длительное время. Кроме того, перед местными органами управления стоят еще и задачи экономического развития своей территории, когда требуется предварительная экологическая оценка ее емкости для размещения перспективных производств. Осуществление подобных оценок требует анализа большого количества разнообразного материала, что вряд ли под силу небольшим группам специалистов, работающих в этих органах. Выходом из положения является использование экспертных систем в условиях отсутствия методических разработок и недостаточного уровня компетентности людей, принимающих решения.

Основой рассматриваемой экспертной системы является база знаний, составленная из правил. Правила представляют собой “продук-

ции”, задаваемые, как было показано ранее, выражениями “если — то”. Примером служит правило:

- ЕСЛИ: 1) число дней с туманами не более 40 дней в году, и
2) количество осадков в год более 400 мм, и
3) количество твердых осадков более 50%,

ТО: перейти к анализу геохимических параметров.

Правила могут видоизменяться и набор их может расширяться, приводя тем самым к углублению знаний экспертной системы.

В ходе своей работы система последовательно проверяет ряд имеющихся в ее распоряжении гипотез (примером гипотезы является утверждение о невозможности строительства промышленного объекта из-за особенностей рельефа местности). Проверка гипотезы осуществляется путем задания пользователю вопросов об особенностях региона и промышленного объекта (особенности рельефа, метеорологические характеристики, геохимические свойства, крупность промышленного центра и т.д.). При этом задание вопроса сопровождается выдачей на экран компьютера списка допустимых вариантов ответа пользователя. Таким образом, задача пользователя сводится к выбору того или иного ответа из предложенного списка, что в определенной мере упрощает его работу. Например, при ответе на вопрос о высоте промышленной площадки над уровнем моря нет необходимости задавать точное значение высоты, а требуется лишь указать, превышает эта высота 500 м или нет. Пользователь может вовсе не отвечать на вопрос, если он не уверен в правильности своего ответа; в этом случае система попытается компенсировать отсутствие информации заданием дополнительных вопросов о других параметрах. Пользователь также может попросить систему объяснить ему причину задания того или иного вопроса; в качестве пояснения на экран компьютера выдается правило, попытка применения которого привела к заданию соответствующего вопроса.

В ряде случаев оказывается важным графическое пояснение некоторых вопросов, пользователь может обратиться к “подсказке”, как это делается в большинстве пакетов программ для персональных компьютеров (клавиша HELP). Но в этом случае наряду с текстовым описанием приводятся картинки или фрагменты карт, дающие пояснения.

Помимо описанного выше реализован режим работы экспертной системы, при котором осуществляется проверка гипотезы, заданной самим пользователем (а не выбранной системой автоматически). В результате такой проверки гипотеза может быть подтверждена или отвергнута.

Важным компонентом экспертной системы является подсистема объяснений, демонстрирующая пользователю путь (“цепочку” правил), который привел к тому или иному заключению, начиная как с конца, так и от любого места, выбранного из логических соображений.

Предварительный анализ проблематики показал, что для решения задач экологической тематики необходимо создание ряда взаимосвязанных экспертных систем. Их применение оказывается обоснованным прежде всего для сравнительно узких, но емких направлений, как, например, выбор стратегии расширения существующих химических предприятий (или создания новых) с точки зрения возможного снижения загрязнения воздушного бассейна близлежащего города с учетом комплекса метеорологических, орографических и других условий.

С другой стороны, чрезмерное упрощение, схематизация ситуации иногда приводит к постановке тривиальных задач, не требующих применения экспертных систем. Первые опыты показывают, что экспертные системы могут быть полезны при мониторинге состояний природной среды и их изменений, для семантического анализа массивов информации и подбора фактов, подтверждающих или отвергающих ранее выдвинутые гипотезы оценки проблемных экологических ситуаций (загрязнение, нарушенность земель и др.).

Такая экспертная система была разработана нами для проведения эколого-географической экспертизы в целях выбора допустимого с экологических позиций варианта размещения промышленных объектов с точки зрения их воздействия на природную среду и создания вариантов прогнозных эколого-географических карт для территории Заполярья. Этот район был выбран нами не случайно. Во-первых, наличие разнообразных полезных ископаемых привело к началу его интенсивного промышленного освоения. Во-вторых, территории с подобными природными условиями занимают около половины всей площади страны. В-третьих, экосистемы северных районов отличаются низкой устойчивостью к антропогенному воздействию и легко разрушаются, что повышает значимость предлагаемых оценок. Специфика современного развития экономики Севера связана с возникновением новых предприятий горно-металлургического и химического профиля, представляющих большую опасность для северо-таежных и тундровых ландшафтов Заполярья прежде всего выбросами поллютантов в природную среду.

В основу выдаваемых экспертной системой рекомендаций положен накопленный практический опыт изучения экологических последствий эксплуатации промышленных объектов различного типа в Заполярье. Экспертная система позволяет легко анализировать возможные варианты сочетания лимитирующих размещение природных и антропогенных факторов, присущих той или иной территории. Так, для предприятий с высокой степенью экологической опасности (цветной металлургии, химических), которая оценивается по специальной методике, в первую очередь анализируется сочетание параметров, описывающих потенциал загрязнения атмосферы. Напротив, для предприятий легкой промышленности с низкой степенью экологической опасности на первый план выступают положение в рельефе строительной площадки, мощность почвенного профиля, крупность промышленного центра, близость заповедников и т.д.

Исходным материалом для экспертной системы являются задаваемые пользователем параметры изучаемого географического региона и промышленного объекта. Как правило, сбор этих данных — нелегкая для пользователя задача. Поэтому экспертная система предусматривает возможность обращения к банку эколого-географических данных, содержащего необходимые сведения по районам Заполярья. Система взаимосвязанных показателей, определяющих порог ограничений для размещения промышленных предприятий, выражена в виде набора правил. Правила характеризуют влияние того или иного сочетания факторов на оценку изучаемой ситуации (возможности размещения производства), а также взаимосвязь этих факторов. Так, для оценки возможности экологически безопасного размещения горно-металлургического производства экспертная система предусматривает проверку соответствия вводимых исходных эколого-географических параметров более чем сорока правилам, ограничивающим возможность размещения промышленного предприятия. Основными лимитирующими параметрами для подобного предприятия будут климатические, характеризующие потенциал загрязнения атмосферы, и геохимические. Кроме упомянутых экспертная система проводит анализ соответствия вводимых исходных данных всем прочим правилам, отражающим лимитирующие биологические, геоморфологические, криолитологические, педологические, демографические, экономические, санитарные, историко-культурные факторы.

Предварительные многолетние работы по изучению острых экологических ситуаций, связанных с горно-металлургическим про-

изводством в Заполярье, позволили определить набор необходимых для оценки характеристик, описывающих потенциал загрязнения атмосферы, а также установить их “критические” значения. Так, лимитирующими размещению характеристиками потенциала загрязнения атмосферы являются: среднегодовая скорость ветра 4–6 м/с, повторяемость слабых ветров более 30% в год, штилей — более 10% в год, приземных инверсий температуры воздуха 30–45% в год при мощности приземных инверсий более 0,4–0,7 км, интенсивности 7–8°, количестве осадков менее 400 мм в год, числе дней с туманами более 40 в год, направлении ветров румбов 0–45° менее 50% в год. Все эти характеристики приведены только для континентальных районов, размещение промышленных предприятий в которых сопряжено с повышенной экологической опасностью. Для океанического сектора параметры несколько иные. Изменяются лимитирующие факторы и в зависимости от высоты расположения будущей площадки над уровнем моря, положения на равнине или в горах, что также включено в соответствующие правила.

Аналогичные ограничения введены в экспертной системе и на геохимические параметры, характеризующие исходное содержание поллютантов (в нашем случае — тяжелых металлов, соединений серы и фтора) в природной среде. Если концентрации этих веществ изначально выше, чем специально вычисленные средние арктические значения, то размещение промышленного предприятия в данном районе экологически опасно. Причем причина превышения — естественная или антропогенная — значения не имеет. Экспертная система содержит лимитирующие параметры по концентрациям тяжелых металлов в растениях-биоиндикаторах (мхах и лишайниках определенных видов, широко используемых в целях контроля загрязнения атмосферы), снеге, дождевой воде, содержанию соединений серы в воздухе, снеге, талой воде, фтористого водорода в воздухе.

Если восприятие вводимых геохимических лимитирующих параметров не вызывает трудностей у пользователя, то приводимые лимитирующие характеристики потенциала загрязнения атмосферы нуждаются в пояснении. Поэтому составным элементом системы является механизм объяснения, позволяющий пользователю путем демонстрации значения тех или иных ограничений на рисунках, таблицах, графиках на дисплее легко разобраться в значении анализируемого системой того или иного показателя. Подобным образом объясняются не только климатичес-

кие, но и другие лимитирующие факторы, которые упоминались ранее.

При проведении экспертизы системой последовательно используется свод правил, ограничивающих экологически безопасное размещение производства, причем продвижение идет от правил более высокого ранга значимости к правилам более низкого ранга. Если заданные пользователем параметры планируемого производства попадают под действие лимитирующих факторов высокого ранга, то ответ экспертной системы — “строить нельзя”. В этом случае если “ограничителем” выступает одно из правил более низкого ранга, то вывод системы — “есть ограничения на строительство”. Пользователь может легко воспроизвести на экране дисплея весь ход экспертизы (или какую-то ее часть от интересующего момента) и получить разъяснения по поводу возможных ограничений, препятствующих размещению анализируемого производства.

При нежестко заданных исходных параметрах у пользователя есть возможность подобрать несколько вариантов размещения производства с оптимальным возможным соблюдением норм экологической безопасности размещения производства. Той же цели отвечает и блок моделирования, включенный в систему и позволяющий подобрать и проанализировать возможные варианты “экологически допустимого” размещения производства путем варьирования переменными параметрами системы.

Введенные в систему параметры-ограничители могут быть использованы для построения эколого-географических карт размещения производства. Для этого их значения в определенных сложившихся на исследуемой территории сочетаниях анализируются для единиц природного, административного деления или регулярной сетки, например квадратов, на которые разбивается эта территория. Возможно построение сетей с переменной величиной ячеек, для чего с успехом используются методики построения квадратомических деревьев и др.

Для выбранных территориальных единиц анализируются значения параметров, снижающих экологическую опасность производства (климатических, геоморфологических). В своей совокупности все параметры могут быть сведены в матрицу, содержащую сочетания лимитирующих и благоприятствующих размещению промышленного производства факторов, привязанных к конкретной территории. Путем их обработки с использованием алгоритмов многомерной математической типологии или оценки получают соответственно син-

тетические карты природно-хозяйственных типов территории или оценок степени пригодности (с экологических позиций) территорий для размещения промышленного производства (Красовская, Тикуннов, 1990).

В перспективе планируется развитие экспертной системы для решения задач экологически обоснованного размещения сельскохозяйственных и рекреационных предприятий в Заполярье.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение остановимся на итогах и перспективах развития методов моделирования и автоматизации, которые прежде всего связаны с дальнейшими теоретическими обобщениями, выявлением и характеристиками соотношения формальных и эвристических компонент моделирования на основе целенаправленного системного подхода. Основная тенденция в области моделирования — переход от его развития по эмпирическому пути на рельсы теоретического обоснования. В процессе этой эволюции моделированию на первых порах приписывались неограниченные возможности, в том числе в области имитации сложных явлений, изучаемых во всем их многообразии. Далее опыт исследований и ряд неудач охладил интерес к вопросам моделирования как к модному увлечению, “опустили его на землю”. Это, по-видимому, послужило импульсом к необходимости теоретических разработок, к определению области рационального использования методов моделирования, к выявлению специфических свойств моделирования в картографии.

Моделирование в картографии в настоящее время применяется как в картосоставлении, так и в картоиспользовании, образуя единое ядро в пределах системы “создание—использование карт”. Например, математические модели, пригодные для моделирования тематического содержания карт, находят применение при использовании карт в географических исследованиях и наоборот. Сейчас можно говорить о формировании единого методического аппарата, охватывающего оба крыла тематической картографии. Это особенно четко наблюдается при математико-картографическом моделировании. Комплексование математических и картографических моделей вместе позволяет использовать их сильные стороны, а сам процесс реализации моделирования становится диалоговым. Здесь результаты математических построений зачастую представляются в виде карт, что позволяет производить поэтапную оценку результатов, находить ошибки, исправлять их, корректируя дальнейший процесс моделирования, и т.д. Одним из перспективных свойств моделирования можно считать его многовариантность. В последние годы все большее внимание ученых привлекает перспективность комплексирования карт с аэро- и космическими материалами.

Особого внимания требует задача оперативной обработки данных, в частности в связи с внедрением в тематическую картографию космических материалов, а также в связи с ростом и необходимостью полного использования картографических и статистических данных. В последние годы в географии некоторые графические и статистические приемы, разработанные применительно к созданию карт, переносятся на преобразования аэро- и космических изображений для нужд картографии. Появляется возможность моделирования быстро меняющихся явлений, таких, как снежный покров, состояние сельскохозяйственных посевов, загрязнение акваторий, распространение лесных пожаров и многое другое.

На этапе переработки данных встает задача создания проблемно-ориентированных библиотек в математическом обеспечении ЭВМ для решения картографических задач. Однако своеобразие и даже уникальность многих географических явлений в значительной мере препятствуют разработке стандартных вычислительных программ и типовых схем, не изменяемых в каждом конкретном случае в зависимости от содержательно-географических особенностей явлений. Для создания карт, наилучшим образом отражающих исследуемые стороны действительности, и в ближайшей перспективе, видимо, придется экспериментально подбирать математические модели, отрабатывать рациональные пути имитационного моделирования, искать оптимальные варианты карт.

Следует также обратить внимание на выработку путей оптимизации построения моделей. Главная задача здесь видится в целенаправленном, географически обоснованном отборе и трансформации математических алгоритмов для наиболее точного и адекватного описания географической реальности.

Что касается совершенствования тематических карт, то здесь, судя по литературе, наметилась тенденция, которая, по-видимому, будет развиваться и в будущем, в переходе от узкоаналитических карт к комплексным и синтетическим, характеризующим географические явления более разносторонне, с показом территориальных и временных закономерностей, взаимосвязей и динамики развития. В то же время будут совершенствоваться и сами аналитические карты. Применение моделирования открывает путь к формированию новых сюжетов карт как результатов конструирования их тематического содержания.

Создаваемые модели могут базироваться на широком спектре данных, используемых в географии. Особенно удобна реализация моделирования при использовании упорядоченных массивов данных в

геоинформационных технологиях. Если же и результат моделирования воспроизводить в графическом виде на графопостроителях или дисплеях, то весь процесс становится автоматизированным. Таким образом, одна из тенденций может быть связана с широким привлечением технических средств как на этапе информационного обеспечения, так и реализации самой процедуры моделирования и отображения получаемых, зачастую многовариантных, результатов с помощью автоматизированных устройств.

Наконец, представляется существенным подчеркнуть опасность гипертрофирования технических аспектов моделирования в ущерб его содержательно-географическим аспектам. Именно такая гипертрофия приводит иногда к сугубо техническому взгляду на моделирование. Создается впечатление, что можно развивать технику моделирования безотносительно к конкретному содержанию географических явлений. Узкотехнический подход, который нередко прикрывает неспособность вникнуть в существо моделируемых явлений, недостаточен для правильного решения проблем картографии. Успех моделирования определяется рядом условий, в том числе правильной постановкой задачи, исходя из существа отображаемых явлений, обоснованным подбором исходной информации и алгоритмов, соответствующих задачам исследования и реализуемых с использованием современных средств механизации и автоматизации в картографии. Таким образом, все сказанное определяет фундаментальное следствие — нерасторжимость географических наук и картографии.

Литература

- Айвазян С.А., Бухштабер В.М., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика: Классификация и снижение размерности. М.: Финансы и статистика, 1989. 607 с.
- Алексеев А.И., Тикунов В.С., Борзилова А.М., Ревзина Л.Б. Применение Q-схемы корреляционного анализа в геоинформационном блоке моделирования//Геоинформационное картографирование. М.: МЦ РГО, 1993. С. 139–153.
- Алексеев Г.А. Объективные методы выравнивания и нормализации корреляционных связей. Л.: Гидрометеиздат, 1971. 362 с.
- Анучин В.А. Географический фактор в развитии общества. М.: Мысль, 1982. 334 с.
- Аркадьев А.Г., Браверман Э.М. Обучение машины классификации объектов. М.: Наука, 1971. 192 с.
- Архипов Ю. Р., Блажко Н.И., Григорьев С.В., Заботин Я.И., Трофимов А.М., Хузеев Р.Г. Математические методы в географии. Казань: Изд-во Казанск. ун-та, 1976. 352 с.
- Асланикашвили А.Ф. Метакартография. Основные проблемы. Тбилиси.: Мецниереба, 1974, 128 с.
- Астахов А.Ф., Фролов Ю.С. Специфика определений корреляционных связей по картам//Вестн. Ленингр. ун-та. Сер. Геол., Геогр. 1979. № 12. С. 87–94.
- Бакланов П.Я., Поярков Б.И., Каракин В.П. Природно-хозяйственное районирование территории: общая концепция и исходные принципы//География и природные ресурсы. 1984. № 1. С. 7–15.
- Балкаров Б.Б. Методы автоматизированной обработки нечетко обусловленной геоэкологической информации//Труды Высокогорного геофиз. ин-та. 1987. № 68. С. 12–24.
- Батоян В.В., Тикунов В.С. Анализ геохимической структуры донных осадков с применением многомерных математических классификаций//Ландшафтно-геохимические исследования антропогенных систем. М.: МФ ГО, 1990. С. 36–48.
- Бахчиев А.З., Лебедев П.П. Количественное и картографическое представление соседского положения//Новое в тематике, содержании и методах составления экономических карт (1970–1973). М.: МФ ВГО, 1974. С. 223–229.
- Баяра В.Н., Тикунов В.С. Общеэкономическая типология губерний и районирование Европейской России на рубеже XIX–XX ве-

- ков методами математико-картографического моделирования//Тематическое системное картографирование с использованием автоматике и дистанционных методов. М.: МФ ВГО, 1986. С. 51–62.
- Бейли Н. Математика в биологии и медицине. М.: Мир, 1970. 328 с.
- Белов А. Л. Политическая география Канады: основные современные, проблемы//Изв. ВГО. 1983. Т. 115, вып. 4. С.363–368.
- Бердников К. В., Тикун В. С. Данные, информация, знания в картографии и геоинформатике//Изв. Русского геогр. об-ва. 1992. Т. 124, вып. 4. С. 369–374.
- Березнер А. С. Прогноз развития водопотребления орошаемого земледелия СССР в отдаленной перспективе//Изв. АН СССР. Сер. Геогр. 1982. № 1. С. 44–52.
- Берлянт А. М. Карты фоновых и остаточных поверхностей и их применение в географических исследованиях//Вестн. Моск. ун-та. Сер. Геогр. 1969. № 4. С. 80–89.
- Берлянт А. М. Карты взаимосвязей явлений и их применение в географических исследованиях//Вестн. Моск. ун-та. Сер. Геогр. 1972. № 1. С. 21–29.
- Берлянт А. М. Картографическое моделирование и системный анализ//Пути развития картографии. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1975. С. 98–106.
- Берлянт А. М. Картографический метод исследования. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1978. 257 с.
- Берлянт А. М. Использование карт в науках о Земле//Итоги науки и техники. Сер. Картография. М.: ВИНТИ АН СССР, 1986. Т. 12. 176 с.
- Берлянт А. М. Образ пространства: карта и информация. М.: Мысль, 1986. 240 с.
- Берлянт А. М. Картографический метод исследования. 2-е изд. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1988. 252 с.
- Берлянт А. М. Геоинформационное картографирование//Картография и геоинформатика. Итоги науки и техники. Сер. Картография. М.: ВИНТИ АН СССР, 1991. Т. 14. С. 80–117.
- Берлянт А. М., Жуков В. Г., Тикун В. С. Математико-картографическое моделирование в системе “создание — использование карт”//Географические исследования в Московском университете. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1976. С. 235–243.
- Берлянт А. М., Тикун В. С. Тематические корреляционные карты и их значение для системного анализа//Вестн. Моск. ун-та. Сер. Геогр. 1977. № 3. С. 10–16.
- Беручашвили Н. Л. Этология ландшафта и картографирование состояний природной среды. Тбилиси: Изд-во Тбилис. ун-та, 1989. 200 с.
- Беручашвили Н. Л., Кевхишвили А. Г. Экспертные системы в географических исследованиях//Изв. ВГО. 1989. Т. 121, вып. 1. С. 3–10.

- Богданович А.В., Максимов Г.Т. Исследование взаимодействия величины и экономической структуры городов//Вестн. Моск. ун-та. Сер. Геогр. 1973. № 5. С. 79–84.
- Богомолов Н.А., Борисов В.М., Красовская Т.М., Тикунов В.С. Экспертная система для выбора вариантов содержания карт размещения промышленности//Геодезия и картография. 1992. № 5. С. 37–41.
- Боков В.А. Физико-географические границы и выделение геосистем//Проблемы природного районирования, Уфа. 1977. С. 3–16.
- Борисов В.М., Громов С.А., Тикунов В.С. Географическая информационная система для характеристики воздушного загрязнения территории//География и природные ресурсы. 1992. № 3. С. 151–154.
- Боровко Н.Н. Статистический анализ пространственных геологических закономерностей. Л.: Недра, 1971. 173 с.
- Боровский В.М., Корниенко В.А. Современные аспекты проблемы Аральского моря//Проблемы освоения пустынь. 1979. № 2. С. 7–12.
- Ботнар В.И., Тикунов В.С. Применение многомерного математического анализа при комплексной оценке природных условий для виноградарства Молдавии//Природа и хозяйство Молдавии. Кишинев: Штиинца, 1977. С. 11–28.
- Бочаров М.К. Методы математической статистики в географии. М.: Мысль, 1971. 376 с.
- Бочкарева Т.В. Типология крупнейших городских агломераций США по качеству окружающей среды и основным факторам его формирования//Изв. АН СССР. Сер. Геогр. 1981. № 5. С. 74–85.
- Бочкарева Т.В. Влияние экологического фактора на изменение динамики и размещения населения в крупнейших городских агломерациях США//Изв. ВГО. 1983. Т. 115, вып. 3. С. 259–266.
- Браверман Э.М. Методы экстремальной группировки параметров и задача выделения существенных факторов//Автоматика и телемеханика. 1970. № 1. С. 123–132.
- Брюханов А.В., Тикунов В.С. Фотографический способ получения простых анаморфированных изображений//Геодезия, картография и аэрофотосъемка. Вып. 37. Львов: Вища школа, 1983. С. 117–122.
- Бунге В. Теоретическая география. М.: Прогресс, 1967. 279 с.
- Бусленко Н.П., Шрейдер Ю.А. Метод статистических испытаний (Монте-Карло) и его реализация в цифровых машинах. М.: Физматгиз, 1961. 226 с.
- Вайну Я.Я. – Ф. Корреляция рядов динамики. М.: Статистика, 1977. 119 с.
- Ван дер Варден Б. Л. Математическая статистика. М.: Иностранная литература, 1960. 434 с.

- В ардомский Л.Б., Тикунов В.С. О некоторых путях географического анализа внешней торговли (на примере торговли СССР с европейскими странами)//Вестн. Моск. ун-та. Сер. Геогр. 1982. № 2. С. 41–47.
- В асилевский Л.И. Анаморфированные карты переменного масштаба и их применение в экономической картографии//Новое в тематике, содержании и методах составления экономических карт. М.: МФ ГО, 1970. С.27–37.
- В асилевский Л.И., Полян П.М. Картографирование параметров территориальных структур//Теория и методика экономикогеографических исследований. М.: МФ ВГО, 1977. С. 34–47.
- В асмут А.С. Искусственный интеллект в картографии//Состояние и перспективы развития геодезии и картографии. М., 1986. С. 95–102.
- В ежник А., Конечный М., Тикунов В.С. Типология динамики урожайности сельскохозяйственных культур//География и природные ресурсы. 1989. № 1. С. 174–182.
- В енцель Е.С. Теория вероятностей. М.: Наука, 1969. 576 с.
- Влияние хозяйства на природу. Оценки, модели, карты. Будапешт, 1986. 503 с.
- Внешняя торговля СССР в 1960–1986 гг. М.: Статистика, 1961–1987.
- В оробьева Т.А., Поливанов В.С., Поспелова Е.Б., Симонов Ю.Г., Спектор И.Р. Географическая концепция формирования геоинформационных систем для управления сельскохозяйственным производством//Вестн., Моск. ун-та. Сер. Геогр. 1989. № 4. С. 3–10.
- Г арелик И.С. Географические информационные системы и дистанционное зондирование//Исследование Земли из космоса. Итоги науки и техники. Т.3. ВИНТИ АН СССР. М.: 1989. С.3–80.
- Г армиз И.В. Качество карт. Современные проблемы и методы. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1990. 212 с.
- Г армиз И.В., Кошкарев А.В., Межеловский Н.В., Рамм Н.С. Геоинформационные технологии: принципы, международный опыт, перспективы развития. М.: ВИЭМС, 1989. 55 с.
- Г арнер Б.Дж. Модели географии городов и размещения населенных пунктов//Модели в географии, М.: Прогресс, 1971. С.29–86.
- Географические границы. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1982. 128 с.
- Географическое обоснование экологических экспертиз. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1985. 207 с.
- Геология и математика. Методологические, теоретические и организационные вопросы геологии, связанные с применением математических методов и ЭВМ. Новосибирск: Наука, 1967. 254 с.
- Глушко Е.В., Малхазова С.М., Тикунов В.С. Ландшафтная оценка размещения и динамики эпизоотий чумы среди грызунов в пустыне Кызылкум по космическим снимкам//География и природные ресурсы. 1992. № 2. С.143–152.

- Головина А. Г. Карта оценки природных условий для производства яровой пшеницы (на примере Иркутской области)//Картографическое обеспечение планирования территориально-производственных комплексов. Иркутск, 1977. С. 87–88.
- Горелик А. Л., Скрипкин В. А. Построение систем распознавания. М.: Советское радио, 1974. 224 с.
- Горностаева Г. А., Тикунов В. С. Математико-картографические методы изучения динамики функций городов Московского региона//Проблемы комплексного картографирования Московского региона, М.: МФ ВГО, 1988. С. 33–49.
- Гохман В. М., Саушкин Ю. Г. Современные проблемы теоретической географии// Вопросы географии. № 88. Теоретическая география. М.: Мысль, 1971. С. 5–28.
- Григорьев А. А. Антропогенные воздействия на природную среду по наблюдениям из космоса. Л.: Наука, 1985. 236 с.
- Гриффит Д. А., Тикунов В. С. Сравнительный анализ алгоритмов моделирования содержания типологических карт//Геодезия и картография. 1990. № 8. С.39–43.
- Гуджабидзе В. В. Потенциал поля расселения как мера размещения населения//Вестн. Моск. ун-та. Сер. Геогр. 1972. № 2. С. 98–101.
- Гуринов В. Н., Сербенюк С. Н. Математико-картографическое моделирование свойств торфяных месторождений//Новые методы в тематической картографии. (Математико-картографическое моделирование и автоматизация). М.: Изд-во Моск. ун-та, 1978. С. 80–83.
- Гусейн-Заде С. М., Тикунов В. С. Численные методы создания анаморфированных картографических изображений//Геодезия и картография. 1990. № 1. С. 38–44.
- Гусейн-Заде С. М., Тикунов В. С. Создание анаморфированных изображений для географических исследований//Вестн. Моск. ун-та. Сер. Геогр. 1992. № 4. С. 43–52.
- Даль В. Толковый словарь живого великорусского языка. С.–Петербург–Москва: 1881. Томъ второй. 779 с.
- Девдариани А. С. Математический анализ в геоморфологии. М.: Недра, 1967. 155 с.
- Дорофеев А. А. Алгоритмы автоматической классификации (обзор литературы)//Проблемы расширения возможностей автоматов. М., 1971. С. 5–41.
- Драмович К. Моделирование пространственной диффузии в географических исследованиях//Новые идеи в географии. Географические аспекты экологии человека. М.: Прогресс, 1979. Вып. 4. С. 251–279.
- Дружинин Н. К. Математическая статистика в экономике. М.: Статистика, 1971. 264 с.
- Дьяченко В. Ф. Основные понятия вычислительной математики. М.: Наука, 1977. 128 с.

- Евдокимова А.К., Солнцева О.И., Тикунов В.С. Изучение распределения тяжелых металлов для характеристики археологических объектов (на примере средневековых городищ Средней Азии)//География и природные ресурсы. 1988. № 1. С. 97–104.
- Евсеев А.В. Опыт использования геохимических данных при палеогеографических исследованиях//Вопросы палеогеографии плейстоцена и общей физической географии. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1986. Ч. II. Деп. ВИНТИ № 3151–В86. С. 103–111.
- Евсеев А.В., Красовская Т.М., Корнеева И.Е. Низшие растения-индикаторы загрязнения природной среды на Скандинавском полуострове//Неоднородность ландшафтов и природопользование. М.: МФ ВГО, 1983. С. 109–116.
- Евсеев А.В., Тикунов В.С. Природно-хозяйственная типология севера Средней Сибири для целей организации фонового мониторинга//Экология. 1990. № 2. С.3–9.
- Евсеев А.В., Тикунов В.С., Цирд М. Опыт составления оценочных и прогнозных карт загрязнения воздушного бассейна города по данным природной индикации (на примере г. Таллина)//Ландшафтно-экологические исследования и практика. М.: МФ ГО, 1991. С. 35–50.
- Евтеев О.А. Карта потенциала поля расселения как особый вид изображения населенности территории//Вестн. Моск. ун-та. Сер. Геогр. 1969. № 2. С. 72–76.
- Евтеев О.А. Картометрический анализ сети расселения//Новое в тематике, содержании и методах составления экономических карт. М.: МФ ВГО, 1970. С. 156–164.
- Евтеев О.А., Свентэк Ю.В., Тикунов В.С. Составление карт потенциала поля расселения//Тематическая картография. М.: МФ ВГО, 1973. С. 23–25.
- Евтеев О.А., Свентэк Ю.В., Тикунов В.С. О способах составления карт потенциала поля расселения//Новое в тематике, содержании и методах составления экономических карт (1970–1973). М.: МФ ВГО, 1974. С. 175–184.
- Жаркова Ю.Г., Ларионов Г.А. Агроэрозионное районирование СССР//Вестн. Моск. ун-та. Сер. Геогр. 1986. № 3. С. 91–96.
- Жуков В.Т., Сербенюк С.Н., Тикунов В.С. О математико-картографических моделях//Теоретическая география. Рига: ЛГУ, 1973. С. 90–94.
- Жуков В.Т., Сербенюк С.Н., Тикунов В.С. Теоретические подходы к математико-картографическому моделированию в географии//Теоретические проблемы географии. Рига, 1976. С. 90–96.
- Жуков В.Т., Сербенюк С.Н., Тикунов В.С. Математико-картографическое моделирование: современное состояние и перспективы//Новые методы в тематической картографии. (Математико-картографическое моделирование и автоматизация). М.: Изд-во Моск. ун-та, 1978. С. 4–15.

- Жуков В.Т., Сербенюк С.Н., Тикунов В.С. Математико-картографическое моделирование в географии. М.: Мысль, 1980. 224 с.
- Жуков В.Т., Тикунов В.С. Применение Q-модификации корреляционного анализа для создания карт промышленности//Теория и методика экономико-географических исследований. М.: МФ ВГО, 1977. С. 64–71.
- Жуковская В.М. Опыт применения методов многофакторного анализа для характеристики сельского хозяйства степных провинций Канады//Количественные методы исследования в экономической географии. М.: ВИНТИ АН СССР, 1964. С. 122–166.
- Жуковская В.М., Кузина И.М. Использование факторного анализа для типологического изучения сельского хозяйства США и Канады//Математические методы в экономике и международных отношениях. Многомерные классификации в социально-экономических исследованиях. М.: ИМЭМО, 1973. С. 169–206.
- Жуковская В.М., Мучник И.Б. Факторный анализ в социально-экономических исследованиях. М.: Статистика, 1976. 152 с.
- Жупанский Я.И., Стасюк М.С. Исследование занятости трудовых ресурсов в населенных пунктах различного функционального типа методом картографического моделирования потенциала поля расселения//Проблемы развития и размещения производительных сил и охрана природы Подолья. Киев, 1975. С. 54–56.
- Завтур Л.В., Фельдман Е.С., Хонелидзе Г.Б., Хохлов П.П. Изучение взаимосвязи между распространением злокачественных новообразований и геохимическими особенностями внешней среды ландшафтно-картографическим методом// Методы изучения эпидемиологии злокачественных опухолей. М.: Медицина, 1970. С. 136–147.
- Закс Л. Статистическое оценивание. М.: Статистика, 1976. 600 с.
- Занадворов В.С. Методы распознавания образов//Математические методы в экономике и международных отношениях. Многомерные классификации в социально-экономических исследованиях. М.: ИМЭМО, 1973. С. 130–158.
- Игнатьева А.Е. К методике расчета и картирования потенциалов городского населения с помощью ЭВМ (на примере Восточной Африки)//Анализ и прогнозирование экономики развивающихся стран. М.: ЦЭМИ АН СССР, 1970. С. 137–142.
- Измайлова Н.В. Оценка и картографирование концентрации явлений, локализованных в точках//Изв. высш. учеб. заведений. Сер. Геодезия и аэрофотосъемка. 1968. № 2. С. 86–95.
- Измайлова Н.В. Картографическая информация и системы картографических знаков. Одесса: Изд-во Одес. ун-та, 1976. 104 с.
- Канторович Л.В., Горстко А.Б. Оптимальные решения в экономике. М.: Наука, 1972. 231 с.

- Канцеговская И.В., Рунова Т.Г. Применение карт потенциалов для оценки использования ресурсов//Применение картографического метода в изучении социально-экономической среды и рационального использования экономических ресурсов. М.: ЦНИИГАиК, 1975. С. 80–83.
- Капур К., Ламберсон Л. Надежность и проектирование систем. М.: Мир, 1980. 604 с.
- Карпович Л.Л., Тикунов В.С., Январева Л.Ф. Моделирование и картографирование сельскохозяйственного воздействия на природную среду//Геодезия и картография. 1993. № 5. С. 41–45.
- Кендалл М.Дж., Стюарт А. Статистические выводы и связи. М.: Наука, 1973. 899 с.
- Ковалев С.А., Тикунов В.С. Методы типологии при сравнительно-географическом исследовании и картографировании динамики населения//Автоматизация в тематической картографии. М.: МФ ВГО, 1985. С. 78–87.
- Коган Р.И., Белов Ю.П., Родионов Д.А. Статистические ранговые критерии в геологии. М.: Недра, 1983. 136 с.
- Колосов В.А., Тикунов В.С. Многомерная типология соотношения партийно-политических сил для политико-географического районирования (на примере Италии) //Изв. ВГО 1984. Т. 116, вып. 1. С. 66–77.
- Комедчиков Н.Н., Светлосанов В.А., Тикунов В.С. Методы прогноза и рационализации территориальной структуры использования земель в сельском хозяйстве (на примере Кабардино-Балкарии)//Изв. АН. Сер. Геогр. 1992. № 4. С. 97–105.
- Копыл И.В. Региональные географические исследования естественных кормовых угодий: Автореф. дис. канд. геогр. наук. М.: МГУ, 1987. 24 с.
- Космачев К.П. Опыт применения количественных методов анализа расселения при дробном (внутриобластном) экономическом районировании//Доклады Института географии Сибири и Дальнего Востока. 1968. Вып. 20. С. 3–13.
- Кошкарев А.В. Программы, проекты, базы и банки данных географических и картографических автоматизированных информационных систем//Картография и геоинформатика. Итоги науки и техники. Сер. Картография. М.: ВИНТИ АН СССР, 1991. Т. 14. С. 118–176.
- Кошкарев А.В., Каракин В.П. Региональные геоинформационные системы. М.: Наука, 1987. 128 с.
- Кошкарев А.В., Тикунов В.С. Геоинформатика. М.: Изд-во Картгеоцентр-Геодезиздат, 1993. 216 с.
- Кошкарев А.В., Тикунов В.С., Трофимов А.М. Теоретические и методические аспекты развития географических информационных систем//География и природные ресурсы. 1991. № 1. С. 11–16.

- Коэ Л., Тикунов В.С., Торп Л. Алгоритмизация создания карт углов наклона//Вестн. Моск. ун-та. Сер. Геогр. 1981. № 2. С. 52–61.
- Крамбейн У., Грейбилл Ф. Статистические модели в геологии. М.: Мир, 1969. 397 с.
- Красовская Т.М., Зайцева Л.Е., Тарасов И.Ю. Оценка районов Крайнего Севера СССР для организации станций фоновго мониторинга//География и природные ресурсы, 1987. № 4. С. 44–48.
- Красовская Т.М., Тикунов В.С. Эколого-географическая, характеристика территории Кольского полуострова для целей организации фоновых наблюдений//Мониторинг фоновго загрязнения природных сред. Л.: Гидрометеоиздат, 1990. Вып. 6. С. 203–210.
- Красовская Т.М., Тикунов В.С. Оценка перспектив размещения сети фоновго мониторинга в Заполярье//География и природные ресурсы. 1993. № 2. С.37–44.
- Крючков В.Г., Тикунов В.С. Типология сельскохозяйственного использования земель Московской области на основе применения алгоритма автоматической классификации//Вестн. Моск. ун-та. Сер. Геогр. 1987. № 5. С. 19–22.
- Куприянова Т.П. Принципы и методы физико-географического районирования с применением ЭВМ. М.: Наука, 1977. 126 с.
- Курочкина Л.Я., Иманкулов М.Ш., Корниенко В.А. О границах воздействия снижения уровня Аральского моря на окружающую среду//Проблемы освоения пустынь. 1979. № 2. С. 25–33.
- Лавров С.Б., Преображенский В.С., Сдаюк Г.В. Современная “радикальная география” Запада: корни, история, позиции//Изв. АН СССР. Сер. Геогр. 1979. № 2. С. 135–146.
- Лайкин В.И., Червяков В.А. Картографо-статистическое моделирование производственных типов сельскохозяйственных предприятий//Новое в тематике, содержаниях и методах составления экономических карт (1970–1973). М.: МФ ВГО, 1974. С. 155–163.
- Левинский С. Таксономические методы в региональных исследованиях//Региональная наука о размещении производительных сил. Новосибирск—Иркутск, 1971. Вып. III. С. 149–159.
- Липец Ю.Г. Подходы к экономической типологии стран//Вопросы географии. № 116. Страноведение: состояние и задачи. 1981. С. 77–86.
- Липец Ю.Г., Чижов Н.Н. Статистические методы изучения потенциала поля городского расселения//Проблемы современной урбанизации. М.: Статистика, 1972. С. 204–222.
- Лоули Д., Максвелл А. Факторный анализ как статистический метод. М.: Мир, 1967. 144 с.
- Лухманов Д.Н. Степень регулярности сетей обслуживания//Вопросы географии. Математика в экономической географии. М.: Мысль, 1968. Вып. 77. С. 136–147.

- Л ю т ы й А . А . Карты оценки уровней энергетической оснащенности народного хозяйства//Оценочные карты природы, населения и хозяйства. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1973. С. 162–173.
- Л ю т ы й А . А . Некоторые вопросы разработки карт для оценки и прогнозов развития экономики//Новое в тематике, содержании и методах составления экономических карт (1970–1973). М.: МФ ВГО, 1974. С. 135–147.
- Л ю т ы й А . А . Язык карты. М.: Знание, 1981. 48 с.
- Л ю т ы й А . А . Язык карты: сущность, система, функции. М.: Ин-т географии АН СССР, 1988. 292 с.
- М а е р г о й з И . М . Методика мелкомасштабных экономико-географических исследований. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1981. 137 с.
- М а к с и м о в Г . Т . Изучение системы городских поселений БССР методами математической статистики. Минск: Наука и техника, 1972. 160 с.
- М а р а х о в с к и й Я . М . , Т и к у н о в В . С . Некоторые структуры для представления пространственных данных в географических информационных системах//Автоматизированная картография и геоинформатика. М., 1990. С. 41–63.
- М а р к о в К . К . Два очерка о географии. М.: Мысль, 1978. 125 с.
- Математические методы в экономике и международных отношениях. Многомерные классификации в социально-экономических исследованиях. М.: ИМЭМО, 1973. 315 с.
- М а т л и н И . С . Статистическое моделирование развития системы поселений//Вопросы географии. № 88. Теоретическая география. М.: Мысль, 1971. С. 153–163.
- М а т л и н И . С . , С о л о в ь е в А . В . Использование характеристик поля расселения при анализе системы обслуживания//Вопросы географии. № 91. География сферы обслуживания. М.: Мысль, 1972. С. 211–218.
- М е р е н ю к Г . В . , П о н о м а р е в а Г . И . Концентрация и специализация сельскохозяйственного производства и санитарное состояние почвенного покрова//Оптимизация природной среды в условиях концентрации и специализации производства. Кишинев: Штиинца, 1978. С. 230–233.
- М о н м о н ь е М . С . Значение и изображение направления тренда//Картография. Использование карт в научных и практических целях в зарубежной картографии. М.: Прогресс, 1983. Вып. 2. С. 147–160.
- М у ч н и к И . Б . , П е т р е н к о Е . С . Программы для решения задач распознавания образов методом потенциальных функций//Алгоритмы обучения распознаванию образов. М.: Советское радио, 1972. С. 50–85.
- Н а л и м о в В . В . Теория эксперимента. М.: Наука, 1971. 208 с.
- Н е в я ж с к и й И . И . Методы природно-хозяйственного районирования//Вестн. Моск. ун-та. Сер. Геогр. 1980. № 4. С. 41–46.

- Неронов В.М., Малхазова С.М., Тикунов В.С. Региональная география чумы//Итоги науки и техники. Медицинская география. М.: ВИНТИ АН СССР, 1991. Т. 17. 231 с.
- Нивергельт Ю., Фаррар Дж., Рейнголд Э. Машинный подход к решению математических задач. М.: Мир, 1977. 352 с.
- Нургалеев Э.Х., Тикунов В.С., Трофимов А.М. Глобальный ресурсный банк данных — GRID//Вестн. Моск. ун-та. Сер. Геогр. 1990. № 3. С. 117–119.
- Ныммик С.Я. Региональные системы поселений как каркас районного образования//Вестн. Моск. ун-та. Сер. Геогр. 1969. № 3. С. 35–45.
- Оганян С.Е., Тикунов В.С. Применение метода “вrocławской таксономии” в естественных условиях развития пчеловодства//Вестн. Ереван. ун-та. Сер. Обществ. наук. 1973. н. 2. С. 267–272. (на арм. яз.).
- Петров П.В., Сербенюк С.Н., Тикунов В.С. Аналитический способ создания анаморфированных картографических изображений//Вестн. Моск. ун-та. Сер. Геогр. 1983. № 2. С. 56–63.
- Петров П.В., Тикунов В.С. Математико-картографическое моделирование диффузионного распространения географических явлений//Динамика географических систем. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1983. С. 39–46.
- Петров П.В., Тикунов В.С. Моделирование изохрон при создании карт транспортной доступности//Геодезия и картография. 1984. № 5. С. 42–43.
- Петров П.В., Тикунов В.С. Моделирование и картографирование на ЭВМ пространственно-временного развития географических явлений методом Монте-Карло//Изв. ВГО. 1986. Т. 118, вып. 1. С. 67–74.
- Победоносцева О.А. О создании прогнозных карт урожайности//Изв. высш. учеб. заведений. Сер. Геодезия и аэрофотосъемка. 1973. № 4. С. 119–124.
- Победоносцева О.А. О прогнозных картах урожайности//Геодезия и картография. 1974. № 7. С. 59–66.
- Полян П.М. Исследование территориальных структур методом потенциалов (на примере машиностроения зарубежных европейских стран — членов СЭВ)//Изв. АН СССР. Сер. Геогр. 1976. № 4. С. 94–101.
- Полян П.М., Трейвиш А.И. Позиционно-релятивные карты: метод потенциалов и центрографический метод//Территориальная организация производительных сил СССР. М.: МФ ВГО, 1978. С. 59–75.
- Пономаренко И. Возможности использования марковских цепей для прогностической оценки сельскохозяйственных показателей (на примере урожайности)//Материалы к Всесоюз. совещ. “Информационно-вычислит. система планир., учета, отчетности и оперативн. управл. сельскохозяйственным производством”. Секция II (часть I). М., 1971. С. 65–70.

- Портянский И. А. Компьютерный арсенал географии. М.: Мысль, 1989. 172 с.
- Поспелов Г. Искусственный интеллект — основа новой информационной технологии//Коммунист. 1988. № 1. С.88–96.
- Поспелов Г. С., Поспелов Д. А. Искусственный интеллект — прикладные системы. М.: Знание, 1985. 48 с.
- Построение картографического изображения с помощью ЭВМ и автоматических устройств. Калинин: Изд-во КПИ, 1973. 152 с.
- Построение экспертных систем/Под ред. Ф. Хейеса-Рота, Д. Уотермана, Д.Лената. М.: Мир, 1987. 441 с.
- Праги У. Вопросы формализации и интерпретации некоторых моделей в географии//Теоретическая и математическая география. Таллинн: Валгус, 1978. С. 123–150.
- Праги У. Р. Стоит ли вводить в географию математические методы?//Изв. АН СССР. Сер. Геогр. 1984. № 3. С. 100–107.
- Пред А. Пространственно-временная концепция Хегерстранда и ее значение//Новые идеи в географии. Географические аспекты экологии человека. М.: Прогресс, 1979. Вып. 4. С. 86–110.
- Райтвильр Т. Нововведения и общественная география//Учен. зап. Тартус. ун-та. 1981. № 578. С. 99–113.
- Райх Е. Л., Максимова Л. В. Медико-географическая территориальная дифференциация (на примере характерных эндемичных болезней)//Изв. АН СССР. Сер. Геогр. 1988. № 6. С. 34–43.
- Расположенский Н. А., Свентэк Ю. В., Тикунов В. С. О возможностях применения электрического моделирования в географии//Вестн. Моск. ун-та. Сер. Геогр. 1972. № 4. С. 32–37.
- Ратайский Л. Развернутая концепция картологии//Картография. Вып. 1. Зарубежные концепции и направления исследований. М.: Прогресс, 1983. С. 17–33.
- Рахлина Л. И. Методы факторного анализа//Математические методы в экономике и международных отношениях. Многомерные классификации в социально-экономических исследованиях. М.: ИМЭМО, 1973. С. 103–129.
- Ретеев А. Ю., Серебряный Л. Р. География в системе наук о Земле//Итоги науки и техники. Сер. Теоретические и общие вопросы географии. М.: ВИНТИ АН СССР, 1985. Т. 4. 206 с.
- Ривкус Ю. З., Митропольский О. В., Урманов Р. А., Беляева С. И. Особенности развития эпизоотий чумы среди грызунов Кызылкумов//Фауна и экология грызунов. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1985. Вып. 16. С. 5–106.
- Рогач П. И. Прогнозирование урожайности зерновых культур, картофеля и овощей с помощью коэффициента регрессии//Вопросы оптимального планирования народного хозяйства Белорусской ССР. Минск, 1969. С. 233–239.

- Родоман Б.Б. Поляризация ландшафта как средство сохранения биосферы и рекреационных ресурсов//Ресурсы, среда, расселение. М.: Наука, 1974. С. 150–162.
- Розин Б.Б. Теория распознавания образов в экономических исследованиях. М.: Статистика, 1973. 224 с.
- Романовский В.И. Дискретные цепи Маркова. М.Л.: Гостехиздат, 1949. 436 с.
- Росин В.Я., Тикун В.С. Классификация и картографирование префектур Японии по уровню развития отраслей обрабатывающей промышленности//Изв. ВГО. 1982. Т. 114, вып. 2. С. 164–172.
- Салищев К.А. Задачи картографии и автоматизация//Изв. высших учеб. заведений. Сер. Геодезия и аэрофотосъемка. 1967. № 4. С. 7–10.
- Салищев К.А. Некоторые черты современного развития картографии и их теоретический смысл//Вестн. Моск. ун-та. Сер. Геогр. 1973. № 3. С. 3–12.
- Салищев К.А. Взгляд на картографию в аспекте научно-технической революции//Вестн. Моск. ун-та. Сер. Геогр. 1974. № 3. С. 10–20.
- Салищев К.А. О картографическом методе познания (анализ некоторых представлений о картографии)//Вестн. Моск. ун-та. Сер. Геогр. 1975. № 1. С. 3–10.
- Салищев К.А. Проектирование и составление карт. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1978. 240 с.
- Салищев К.А. Идеи и теоретические проблемы в картографии 80-х годов//Итоги науки и техники. Сер. Картография. М.: ВИНТИ АН СССР, 1982. Т. 10. 156 с.
- Салищев К.А. Картоведение. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1982. 408 с.
- Салищев К.А. Проблема границ в ее решении на картах//Вестн. Моск. ун-та. Сер. Геогр. 1983. № 2. С. 14–21.
- Салищев К.А. Картоведение. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1990. 400 с.
- Саушкин Ю.Г. Моделирование в экономической географии. Подслесовие//Модели в географии. М.: Прогресс, 1971. С. 344–354.
- Свентэк Ю.В. К закономерности территориального распределения поступающих в высшие учебные заведения//Применение количественных методов в географии. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1971. С. 76–82.
- Свентэк Ю.В., Соколовский Н.К., Тикун В.С. Дифференциация территории по ряду показателей с помощью метода “вроцлавского дендрита”//Проблемы синтеза в картографии. М.: МГУ, 1972. С. 100–103.
- Свентэк Ю.В., Тикун В.С. Выделение зон влияния способом итераций//Вестн. Моск. ун-та. Сер. Геогр. 1971. № 1. С. 110–113.
- Свентэк Ю.В., Тикун В.С. Применение таксономических методов для целей картографирования географических комплексов//Построение картографического изображения с помощью ЭВМ и автоматических устройств. Калинин, 1973. С. 108–146.

- Свентэк Ю.В., Тикунов В.С. Создание синтетических карт на основе метода “вроцлавской таксономии”//Синтез в картографии. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1976. С. 152–161.
- Семенов В.И., Солнцева О.И., Тикунов В.С. Геоинформатика: понятия, этапы развития//Геодезия и картография. 1991. № 5. С. 35–37.
- Семкин Б.И., Двойченков В.И. Об эквивалентности мер сходства и различия//Исследование систем. Вып. 1. Анализ сложных систем. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1973. С. 95–104.
- Серапинас Б.Б. О надежности картографического метода исследований//Вестн. Моск. ун-та. Сер. Геогр. 1983. № 3. С. 60–65.
- Сербенюк С.Н. Составление карт средней многолетней урожайности при помощи ЭВМ//Новое в тематике, содержании и методах составления экономических карт. М.: МФ ВГО, 1970. С. 80–90.
- Сербенюк С.Н. Применение моделей факторного и компонентного анализов для картографирования географических комплексов. Калинин: Изд-во КПИ, 1972. 92 с.
- Сербенюк С.Н. Об автоматическом построении контуров и площадных знаков при составлении тематических карт//Геодезия и картография. 1977. № 2. С. 65–69.
- Сербенюк С.Н., Жуков В.Т. Применение математико-статистических моделей для картографирования географических комплексов. Калинин: Изд-во КПИ, 1973. 144 с.
- Сербенюк С.Н., Тикунов В.С. Сравнительный анализ некоторых многомерных математических моделей, применяемых в тематической картографии//Новое в тематике, содержании и методах составления экономических карт (1970–1973). М.: МФ ВГО, 1974. С. 18–43.
- Сербенюк С.Н., Тикунов В.С. Прогнозно-картографические методы изучения динамики роста населения во времени// Вестн. Моск. ун-та. Сер. Геогр. 1980. № 5. С. 46–50.
- Сербенюк С.Н., Тикунов В.С. Применение регрессионных моделей для создания прогнозных карт урожайности//Геодезия и картография. 1981. № 2. С. 44–46.
- Сербенюк С.Н., Тикунов В.С. Автоматизация в тематической картографии. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1984. 112 с.
- Сиголаева Е.А., Тикунов В.С. Математико-картографическое моделирование хозяйственной освоенности Атлантического океана//География и природные ресурсы. 1986. № 4. С. 113–121.
- Сидоров П.А., Максимов Г.Т. Роль миграции в изменении численности городского населения Белорусской ССР. (Опыт расчета на ЭЦВМ по алгоритму и программе факторного анализа). Минск, 1966. 38 с.
- Симонов А.В., Симонова Л.П., Жуков В.Т. Математико-картографическое моделирование сельского хозяйства Молдавской ССР. Кишинев: Штиинца, 1981. 136 с.

- Симонов Ю.Г. Географическое соседство и методы его измерения//Вестн. Моск. ун-та. Сер. Геогр. 1970. № 4. С. 13–18.
- Симонов Ю.Г. Региональный геоморфологический анализ. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1972. 251 с.
- Симонов Ю.Г. Некоторые мысли об автоматизации географических исследований//Вестн. Моск. ун-та. Сер. Геогр. 1975. № 4. С. 36–42.
- Симонов Ю.Г., Невяжский И.И. Экспертные оценки при географическом прогнозировании//Вестн. Моск. ун-та. Сер. Геогр. 1978. № 4. С. 25–31.
- Слейтер Ф., Спайсер Б. Разработка модели учебного процесса и диффузия нововведений в преподавании//Современные тенденции и методы в географии. Материалы советско-британского симпозиума. М.: Прогресс, 1980. С. 110–124.
- Смирнов Л.Е. Картографическая информация и знание//Научно-технический прогресс и проблемы теории картографии. М.: МФ ВГО, 1987. С. 25–35.
- Смирнов Н.В., Дунин-Барковский И.В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений. М.: Наука, 1969. 511 с.
- Смирнягин Л.В., Тикунов В.С. Типология и картографирование границ на примере экономических районов США//Географические границы. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1982. С. 46–53.
- Смирнягин Л.В., Тикунов В.С., Фетисов А.С. Опыт классификации развивающихся стран по уровню социально-экономического развития//Вопросы экономической и политической географии зарубежных стран. М.: Изд-во ИЛА, 1982. С. 3–15.
- Соболь И.М. Метод Монте-Карло. М.: Наука, 1968. 64 с.
- Советский энциклопедический словарь. М.: Советская энциклопедия, 1981. 1600 с.
- Справочник по климату СССР. Вып. 2, ч. 2, 3, 4, 5. Л.: Гидрометеиздат, 1965–1968.
- Стефанов Н. Моделиране и картографиране//Философска мисъл. 1964. № 2. С. 143–153.
- Суворов А.К. Топология и преобразование картографических изображений//Геодезия и картография. 1984. № 12. С. 28–31.
- Суворов А.К. О соотношении традиционных и нетрадиционных пространственных изображений//Изв. АН СССР. Сер. Геогр. 1984. № 5. С. 121–133.
- Суетова И.А., Тикунов В.С. Оценка вероятной биопродуктивности акваторий Атлантического океана, перспективных для рыболовства//География и природные ресурсы. 1989. № 3. С. 134–139.
- Тикунов В.С. Разработка алгоритмов распознавания, классификации и картографирования географических комплексов с помощью ЭВМ//Новые методы в тематической картографии. (Математико-карто-

- графическое моделирование и автоматизация). М.: Изд-во Моск. ун-та, 1978. С. 52–69.
- Т и к у н о в В. С. Типология математико-картографических моделей социально-экономических явлений//Изв. АН СССР. Сер. Геогр. 1979. № 2. С. 130–134.
- Т и к у н о в В. С. Способ определения интервалов шкал для тематических карт//Геодезия и картография. 1980. № 3. С. 46–50.
- Т и к у н о в В. С. Алгоритмизация создания карты оценки природных условий для виноградарства Молдавии//Геодезия, картография и аэрофотосъемка. Вып. 32. Львов: Вища школа, 1980. С. 142–150.
- Т и к у н о в В. С. Сравнительный анализ способов составления карт потенциала поля расселения//Изв. ВГО, 1980. Т. 112, вып. 3. С. 191–201.
- Т и к у н о в В. С. Изучение взаимосвязей природных явлений и урожайности сельскохозяйственных культур с помощью корреляционных карт//Карты полей динамики и взаимосвязи явлений. Иркутск, 1980. С. 135–147.
- Т и к у н о в В. С. Имитация пространственного развития явлений на примере гравитационной модели распространения эпидемий и их картографирование//Геодезия, картография и аэрофотосъемка. Вып. 33. Львов: Вища школа, 1981. С. 104–110.
- Т и к у н о в В. С. Математико-картографическая типология динамики урожайности сельскохозяйственных культур//Изв. АН СССР. Сер. Геогр. 1981. № 5. С. 127–132.
- Т и к у н о в В. С. Способ оценки достоверности математико-картографического моделирования//Вестн. Моск. ун-та. Сер. Геогр. 1982. № 4. С. 42–48.
- Т и к у н о в В. С. Имитация и картографирование территориального распределения абитуриентов, поступающих в высшие учебные заведения//Идеи Н.Н.Баранского и современная социально-экономическая картография. М.: МФ ВГО, 1983. С. 74–84.
- Т и к у н о в В. С. Алгоритм для моделирования тематического содержания типологических карт//Вестн. Моск. ун-та. Сер. Геогр. 1983. № 4. С. 78–84.
- Т и к у н о в В. С. Метод классификации географических комплексов для создания оценочных карт//Вестн. Моск. ун-та. Сер. Геогр. 1985. № 4. С. 28–36.
- Т и к у н о в В. С. Моделирование в социально-экономической картографии. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1985. 280 с.
- Т и к у н о в В. С. Анаморфированные картографические изображения: история и способы их создания//Вестн. Моск. ун-та. Сер. Геогр. 1986. № 6. С. 45–52.
- Т и к у н о в В. С. Математизация тематической картографии. Владивосток, 1986. 24 с.
- Т и к у н о в В. С. Некоторые дискуссионные вопросы картографии//География и природные ресурсы. 1987. № 2. С. 147–152.

- Тикунов В.С. Классификация и картографирование нечетких географических систем//Вестн. Моск. ун-та. Сер. Геогр. 1989. № 3. С. 16–23.
- Тикунов В.С. Современные средства исследования системы “общество — природная среда”//Изв. ВГО, 1989. Т. 121, вып. 4. С. 299–306.
- Тикунов В.С. Исследования по искусственному интеллекту и экспертные системы в географии//Вестн. Моск. ун-та. Сер. Геогр. 1989. № 6. С. 3–9.
- Тикунов В.С. Средства географических исследований//Вестн. Моск. ун-та. Сер. Геогр. 1990. № 4. С. 41–46.
- Тикунов В.С. Многовариантность моделирования географических систем//Изв. АН СССР. Сер. Геогр. 1990. № 5. С. 106–118.
- Тикунов В.С. Некоторые теоретические вопросы картографии//Геодезия и картография. 1991. № 7. С. 27–31.
- Тикунов В.С. Географические информационные системы и картография//Экологическое картографирование на современном этапе. Кн. I. Л.: 1991. С. 14–17.
- Тикунов В.С. Географические информационные системы: сущность, структура, перспективы//Картография и геоинформатика. Итоги науки и техники. Сер. Картография. М., ВИНТИ АН СССР, 1991. № 14. С. 6–79.
- Тикунов В.С., Флоринский М.А. Типология пахотных почв СССР с различным содержанием подвижных форм фосфора, калия и степени кислотности//География и природные ресурсы. 1981. № 3. С. 129–131.
- Тикунов В.С., Флоринский М.А. Опыт математико-картографического исследования природных условий для целей химизации сельскохозяйственного производства//Изв. ВГО. 1981. Т. 113, вып. 4. С. 346–352.
- Тикунов В.С., Юдин С.А. Использование анаморфированных картографических изображений в градостроительном анализе//Изв. АН СССР. Сер. Геогр. 1987. № 1. С. 100–105.
- Тикунов В.С., Январева Л.Ф., Лищенко В.В. Моделирование и картографирование хозяйственной освоенности территории//Изв. высш. учеб. заведений. Сер. геодезия и аэрофотосъемка. 1991. № 5. С. 144–154.
- Типология и классификация в социологических исследованиях. М.: Наука, 1982. 296 с.
- Типология несоциалистических стран. (Опыт многомерно-статистического анализа народных хозяйств). М.: Наука, 1976. 271 с.
- Топчиев О.Г. Методика польових економіко-географічних досліджень. Одеса, 1973. 49 с.
- Топчиев А.Г. Об использовании Q-схемы факторного анализа для целей районирования//Изв. АН СССР. Сер. Геогр. 1974. № 6. С. 118–123.

- Тореев В.Б. Типология внешнеэкономических связей развивающихся стран//Вопр. моделир. глобал. кон. процессов. М.: 1985. С. 26–46.
- Трофимов А.М., Панасюк М.В. Геоинформационные системы и проблемы управления окружающей средой. Казань: Изд-во Казанск. ун-та, 1984. 142 с.
- Трофимов А.М., Солодухо Н.М. Вопросы методологии современной географии. Казань: Изд-во Казанск. ун-та, 1986. 84 с.
- Трофимов А.М., Тикунов В.С., Нургалеев Э.Х. Глобальная система мониторинга и ресурсный банк данных в международной программе изучения окружающей среды//География и природные ресурсы. 1990. № 2. С. 27–31.
- Трунин Ю.М., Сербенюк С.Н. Карты доступности при анализе свойств экономико-географического пространства (о картографическом отображении поверхности отрицательной кривизны)// Вопросы географии. № 77. Математика в экономической географии. М.: Мысль, 1968. С. 179–185.
- Трус Л.С. Потенциал поля расселения как фактор миграции//Социально-экономическое развитие села и миграция населения. Новосибирск, 1972. С. 107–118.
- Фельдман Е.С. Медико-географическое исследование территории Молдавии. Кишинев: Штиинца, 1977. 169 с.
- Фишер Р.А. Статистические методы для исследований. М.: Статистика, 1957. 321 с.
- Фомин В.Н. Об одном рекуррентном алгоритме нахождения гиперплоскости, разделяющей выпуклые множества на единичном кубе//Алгоритмы обучения распознаванию образов. М.: Советское радио, 1972. С. 85–89.
- Фролов Ю.С. Потенциал поля расселения и его картирование//Вестн. Ленингр. ун-та. Сер. Геол., Геогр. 1975. № 24. С. 110–123.
- Хаггет П. Пространственный анализ в экономической географии. М.: Прогресс, 1968. 391 с.
- Хаггет П. Сетевые модели в географии//Модели в географии. М.: Прогресс, 1971. С. 287–343.
- Хаггет П. География: синтез современных знаний. М.: Прогресс, 1979. 685 с.
- Ханин С.Е. Границы узлового района как фактор формирования его территориальной структуры//Географические границы. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1982. С. 54–64.
- Харбух Дж., Бонэм-Картер Г. Моделирование на ЭВМ в геологии. М.: Мир, 1974. 319 с.
- Харвей Д. Модели развития пространственных систем в географии человека//Модели в географии. М.: Прогресс, 1971. С. 237–286.
- Харман Г. Современный факторный анализ. М.: Мир, 1972. 486 с.
- Хоррафас Д.Н. Системы и моделирование. М.: Мир, 1967. 419 с.

- Червяков В. А. Карты взаимосвязи явлений//Изв. высш. учеб. заведений. Сер. Геодезия и аэрофотосъемка. 1970. № 1. С. 112–115.
- Червяков В. А. Особенности определения корреляции по картам статистических поверхностей//Сибирский географический сборник. 1975. № 10. С. 5–45.
- Червяков В. А. Концепция поля в современной картографии. Новосибирск: Наука, 1978. 149 с.
- Червяков В. А., Михайлов Ю. П., Лайкин В. И. Географическое прогнозирование картографо-статистическим методом (на примере юга Красноярского края)//Доклады Института географии Сибири и Дальнего Востока. 1974. Вып. 44. С. 3–12.
- Шабад Л. М. О циркуляции канцерогенов в окружающей среде. М.: Медицина, 1973. 367 с.
- Шаблей О. И. Применение методов многомерной классификации для районирования сельскохозяйственного производства (на примере УССР)//География и математика. Тарту: Изд-во Тартус. ун-та, 1974. С. 235–237.
- Ширяев Е. Е. Об автоматизации считывания количественной информации со специальных карт//Изв. высш. учеб. заведений. Сер. Геодезия и аэрофотосъемка. 1968. № 1. С. 111–119.
- Ширяев Е. Е. Новые методы картографического отображения и анализа геоинформации с применением ЭВМ. М.: Недра, 1977. 182 с.
- Ширяев Е. Е. Картографическое отображение, преобразование и анализ геоинформации. М.: Недра, 1984. 248 с.
- Шувалов В. Е. Понятие границы и эффекта пограничности и их место в экономико-географических исследованиях: Автореф. дис. канд. геогр. наук. М.: МГУ, 1980. 29 с.
- Экономическая география Мирового океана. Л.: Наука, 1979. 311 с.
- Экспертные системы. Принципы работы и примеры. М.: Радио и связь, 1987. 224 с.
- Элти Дж., Кумбс М. Экспертные системы: концепции и примеры. М.: Финансы и статистика, 1987. 191 с.
- Ягодина Л. Л. Математические модели рельефа: Автореф. дис. канд. геогр. наук. Л., 1973. 16 с.
- Amara T. Essai de typologie des pays du monde d'après leurs partenaires commerciaux et les produits qu'ils exportent ou importent//Cah. anal. données. 1986. 11, № 1. P. 81–94.
- Anderson T.W., Goodman L.A. Statistical inference about Markov chains//Ann. Math. Stat. 1957. 28. P. 89–110.
- Bailey N.T.J. The mathematical theory of epidemics. London, 1957. 194 p.
- Bartlett M.S. Measles periodicity and community size//Journal of the Royal Stat. Soc. Ser. A. 1957. 120. P. 48–59.
- Bielecka K., Paprzycki M., Piasecki Z. Badania nad stosownoscia metod ilosciowych w typologii rolnictwa. Refleksje metodologiczne//Prz. geogr. 1977. 49. № 4. S. 807–817.

- Boots B.N. Packing polygons: some empirical evidence//*Can. Geogr.* 1980. Vol. 24. № 4. P. 406–411.
- Bossier J.D., Pendleton D.L., Swetnam G.F., Vitalo R.L., Schwarz C.R., Alper S., Danley H.P. Knowledge-based cartography: the NOS experience//*Amer. Cartogr.* 1988. Vol. 15. № 2. P. 149–161.
- Bouille F. Making expert systems work in geographic information systems//*Proc. 13-th Int. Cartogr. Conf., Morelia, oct. 12–21, 1987.* Vol. 1. — Aguascalientes, 1988. P. 109–112.
- Buursink J. On testing the nearest centre hypothesis//*Tijdschr. econ. en soc. geogr.* 1981. 72. № 1. P. 47–49.
- Bylund E. Theoretical considerations regarding the distribution of settlement in inner north Sweden//*Geografiska Annaler.* 1960. 42. P. 225–231.
- Cameron R. The diffusion of technology as a problem in economic history//*Econ. Geogr.* 1975. 51. № 3. P. 217–230.
- Carter J.R. Computer mapping. Progress in the '80s, Resource publications in geography. 1984. 86 p.
- Census 1971. England and Wales. Preliminary report. London, 1971. 45 p.
- Census 1971. Scotland. Preliminary report. — Edinburgh, 1971. 11 p.
- Chorley R.J., Haggett P. Trend-surface mapping in geographical research//*Inst. of British Geographers. Publications,* 1965. 37. P. 47–67.
- Cliff A. Quantitative methods: spatial diffusion//*Progr. Hum. Geogr.* 1979. 3. № 1. P. 143–152.
- Conkling E.C., McConnell J.E. Toward an integrated approach to the geography of international trade//*The Profess. Geographer.* 1981. 33. P. 16–25.
- Coombs R.W. Innovation, automation and the longwave theory//*Futures.* 1981. 13. № 5. P. 360–370.
- Cuenin R. Cartographie générale. Tome 1. Notions générales et principes d'élaboration. Paris, 1972. P. 309–310.
- Davis J.R., Hoare J.R.L., Nanninga P.M. Development a fire management expert system for Kakadu National Park, Australia//*Journal of Environmental Management.* 1986. Vol. 22. № 2. P. 215–227.
- Dean W.G. An experiment in atlas structure. The economic atlas of Ontario//*Cartographic Journal.* 1970. 7. № 1. P. 28–30.
- Dobson J.E. Automated geography//*Prof. Geogr.* 1983. Vol. 35. № 2. P. 135–143.
- Dougenik J.A., Chrisman N.R., Niemeyer D.R. An algorithm to construct continuous area cartograms//*Prof. Geogr.* 1985. 37. № 1. P. 75–81.
- Dramowicz K. Modele dyfuzji i lancuchy Markowa w analizie przestrzennej. Warszawa, 1976. S. 37–50.
- Estes J.E., Sailer C., Tinney L.R. Applications of artificial intelligence techniques to remote sensing//*The Profes. Geogr.* 1986. Vol. 38. № 2. P. 133–141.

- Fisher P., Mackaness P. Are Cartographic Expert Systems Possible?//Proceedings AutoCarto 8, 1987. P. 530-534.
- Fisher P.F., Mackaness W.A., Peacegood G., Wilkinson G.G. Artificial intelligence and expert systems in geodata processing//Progr. Phys. Geogr. 1988. Vol. 12. № 3. P. 371-388.
- Forster C. A. Monte Carlo simulation as a teaching aid in urban geography: evaluation of an example//Geography. 1973. 58. P. 13-28.
- Forster F. Use a demographic base map for the presentation of areal data in epidemiology//British Journal of Preventive and Social Medicine. 1966. Vol. 20. № 4. P. 165-171.
- Garrison W.L. Towards simulation models of urban growth and development//Lund Studies in Geography. Ser. B, Human Geography. 1962. 24. P. 92-108.
- GEMS — The Global Environment Monitoring System. UNEP, Peshurst Press Ltd. Kent. England, 1982. 32 p.
- Goldberg M., Alvo M., Karam G. The analysis of Landsat imagery using an expert system: forestry applications//Proc. AutoCarto 6. 1984. P. 493-503.
- Gould P.R. Man against his environment: a game-theoretic framework//Annals of the Ass. of Amer. Geogr. 1963. 53. P. 290-297.
- GRID. Peshurst Press Ltd. Kent. England, 1985. 16 p.
- GRID. Pilot Project: An interim status report. Information series № 9. Nairobi, 1987. 10 p.
- Grienig R. Kennziffern zum Entwicklungsniveau der Länder Asiens, Afrikas und Lateinamerikas. Modifizierte und ergänzende Angaben für 1974/1975//Asien., Afr., Lateinamer. 1978. 6. № 2. S. 327-338.
- Griffith D.A. Phasing-out of the sugar industry in Puerto-Rico//Envolving Geographical Structures. Mathematical Models and Theories for Space-Time Processes.: Martinus Nijhoff Publ. 1983. P. 196-228.
- Griffith D.A. Toward a theory of spatial statistics: another step forward//Geogr. Anal. 1987. 19. № 1. P. 69-82.
- Gwynne M.D. GEMS and the need for a global resource information database//Sci. Total Environ. 1986. 56. P. 19-29.
- ✓ Hägerstrand T. The propagation of innovation waves//Lund Studies in Geography, Ser. B, Human Geography, 1952. 4. P. 3-19.
- Hägerstrand T. Migration and area: survey of a sample of Swedish migration fields and hypothetical considerations on their genesis//Lund Studies in Geography, Ser. B, Human Geography. 1957. 13. P. 27-158.
- Hägerstrand T. A Monte Carlo approach to diffusion//Arch. Eur. Sociol. 1965. № 6. P. 43-67.
- Haggett P. Regional and local components in the distribution of forested areas in southeast Brazil: a multivariate approach//Geograph. Journal. 1964. 130. P. 365-380.
- Haro A. Area Cartogram of the SMSA Population of the United States//Annals of the Association of American Geographers. 1968. 58. № 3. P. 452-460.

- Hill R. D. The delimitation of areas for rural development: thoughts towards a typology//Philipp. Geogr. J. 1981. Vol. 25. № 2. P. 52–56.
- Hunter J. M., Young J. C. Technique for the Construction of quantitative Cartograms by Physical Accretion Models//The Professional Geographer. Vol. XX. № 6. 1968. P. 402–407.
- Jackson M. J., Mason D. C. The development of integrated geoinformation systems//Int. J. Remote Sens. 1986. Vol. 7. N 6. P. 723–740.
- Jedut R. Problemy porzadkowania i podzialu jednostek terytorialnych przy uzyciu zespolu metod taksonomicznych//Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska, sektio B. Lublin, 1970. XXV 7. S. 177–221.
- Jelonk A., Olszówka A. Próba typologii demograficznej przy zastosowaniu metody taksonomii wroclawskiej//Folia geogr., Ser. geogr.-econ. 1977. 10. S. 5–22.
- Johnson R., Wichern D. Applied Multivariate Statistical Analysis. Englewood Cliffs, N.J., Prentice-Hall, 1982.
- Johnston R. J. Principal components analysis and factor analysis in geographical research: some problems and issues//South Afr. Geogr. Journal. 1977. 59. № 1. P. 30–44.
- Kadmon N. The mapping of distribution parameters//Cartographic Journal. 1968. 5. № 1. P. 64–69.
- Kadmon N. Data-bank derived hyperbolic-scale equitemporal town maps//International Yearbook of Cartography. 1975. Vol. 15. P. 47–54.
- Kadmon N. Cartograms and topology//Cartographica. 1982. 19. N 3–4. P. 1–17.
- Kadmon N. Photographic, polyfocal and polar-diagrammatic mapping of atmospheric pollution//Cartogr. J. 1983. 20. № 2. P. 121–126.
- Kelk B. Hardware for automated cartography//Automated cartography. Papers presented at the British Cartographic Society. Southampton, 1973. Special Publication, № 1. London, 1974. P. 26–47.
- Kelly J. I., Neville R. J. W. A population cartogram of New Zealand//N. Z. J. Geogr. 1985. № 79. P. 7–11.
- Kolačný A. Cartographic information — a fundamental concept and term in modern cartography//The Cartographic Journal. 1968. Vol. 6. № 1. P. 47–49.
- Konečný M., Rais K. Geografické informacni systémy//Folia prirodoved. fak. UJEP v Brne, 1985. t.26. № 13. 196 s.
- Koshkariov A. V., Tikunov V. S., Trofimov A. M. The current state and the main trends in the development of geographical information systems in the U.S.S.R.//International Journal of Geographical Information Systems. 1989. 3. № 3. P. 257–272.
- Kretschmer I. Theoretical cartography: position and tasks//Int. Jahrb. Kartogr. 1980. 20. P. 142–155.
- Levison M., Haddon W. The Area Adjusted Map: An Epidemiological Device//Public Health Reports. 1965. 80. № 1. P. 55–59.

- Local area personal income 1971-1976. Vol. 1. Summary. (U.S.) Bureau of economic analysis. — Washington, D.C., 1978. 282 p.
- Maccheroni C. Un'applicazione delle catene discrete di Markov alle previsioni demografiche//Riv. int. sci. econ. e commerc. 1971. 18. № 11. P. 1093-1105.
- Margerison T.A. Computers and the renaissance of cartography. Natural Environment Research Council. Royal College of Art. Experimental Cartography Unit. London, 1976. 20 p.
- Mark D.M., Lauzon J.P. Linear Quadrees for Geographic Information Systems//Proceedings of the International Symposium on Spatial Data Handling, Zurich, Switzerland, 1984. P. 412-430.
- Matsuyama T. Knowledge-based aerial image understanding systems//IGARSS'86: Remote Sens. Today's Solut. Tomorrow's Inf. Needs. Proc. Symp., Zurich, 8-11 Sept., 1986. Vol. 1. Paris, 1986. P. 277-282.
- McConnell H. Spatial variability of college enrollement as a function of migration potential//Profess. Geographer. 1965. Vol. 17. № 6. P. 29-37.
- McConnell J.E. Geography of international trade//Progr. Hum. Geogr. 1986. 10. № 4. P. 471-483.
- Monmonier M.S. Computer-assisted cartography. Principles and prospects, Prentice-Hall Inc., 1982. 214 p.
- Morrill R.L. Simulation of central place patterns over time//Lund Studies in Geography. Ser. B, Human Geography. 1962. 24. P. 109-120.
- Morrill R.L. The development and spatial distribution of towns in Sweden: an historical-predictive approach//Annals of the Ass. of Amer. Geogr. 1963. 53. P. 1-14.
- Morrill R.L. The shape of diffusion in space and time//Economic Geography. 1970. 46. P. 259-268.
- Muller J.C. The mapping of travel time in Edmonton (Alberta)//Can. geogr. 1978. 22. № 3. P. 195-211.
- Muller J.-C. La cartographie d'une métrique non euclidienne: les distances-temps//L'Espace Géographique. 1979. 8. № 3. P. 215-227.
- Murdych Z. K otázce strednich mist a kartografických metod jejich vyjadrování//Acta Universitatis Carolinae. Geographica. 1969. 2. S. 21-32.
- Murdych Z. Metody anamorfózy mestských plánů//Acta Universitatis Carolinae. Geographica. 1971. 1-2. S. 111-118.
- Nagy A. Methods of structural analysis and projection of international trade//Studies: Hungarian Academy of Sciences, Institute of Economics. 1979. 13. P. 1-166.
- Nickerson B.G., Freeman H. Development of a rule-based system for automatic map generalization//Proceed. Second Int. Symp. on Spat. Data Handling, July 5-10, 1986, Seattle, Washington, USA, 1986. P. 537-556.
- Perkal J. Taksonomia wroclawska//Przeglad Antropol. 1953. 19. S. 82-96.
- Peseux C. Une carte du potentiel de population en France//Espace géogr. 1974. 3. № 2. P. 158-159.

- P e u q u e t D. J. Data structures for a knowledge-based geographic information system//Proc. of the Int. Symp. on Spatial Data Handling, Zurich, Switzerland, 1984. P. 372-391.
- P e u q u e t D. J. A conceptual framework and comparison of spatial data models//Cartographica. 1984. 21. № 4. P. 66-113.
- Perspective Canada: a compendium of social statistics. Ottawa, 1977. Vol. 2. 335 p.
- P e s c h e l K. Spatial structures in international trade: an analysis of long term developments//Pap. Reg. Sci. Assoc. 1985. 58. P. 97-111.
- P i p k i n J. S. Fuzzy sets and spatial choice//Annals of the Assoc. of Amer. Geogr. 1978. 68. № 2. P. 196-204.
- P r a v d a J. A torzitott kartogram//Geod és kartogr. 1977. 29. № 4. O. 274-279.
- P r a v d a J. Metodicko-vyjadrovacie problémy tvorby tematických máp. Bratislava, 1983. 64 s.
- P r a v d a J. Some Problems in Cartographical Interpretation of Geographical Space//Geograficky asopis. 1984. № 4. P. 14-32.
- Przestrzenna dyfuzja innowacji//Prz. zagran. lit. geogr. 1975. № 1-2. 202 s.
- R a s p o l o z h e n s k i y N. A., S v e n t e k Y. V., T i k u n o v V. S. Automation of compilation process of anamorphic images//Automation the new trend in cartography. Budapest, 1974. P. 208-213.
- R a t a j s k i L. The research structure of theoretical cartography//Int. Jahrb. Kartogr. 1973. 13. P. 217-228.
- R i c h a r d s o n H. W. Agglomeration potential: a generalization of the income potential concept//Journal of Regional Science. 1974. 14. № 3. P. 325-336.
- R i p p l e W. J., U l s h o e f e r V. S. Expert systems and spatial data models for efficient geographic data handling//Photogramm. Eng. and Remote Sens. 1987. 53. № 10. P. 1431-1433.
- R o b i n s o n A. H. Mapping the correspondence of isarithmic maps//Ann. Assoc. Amer. Geographers. 1962. 52. № 4. P. 414-425.
- R o b i n s o n V. B., F r a n k A. U. Expert systems for geographic information systems//Photogramm. Eng. and Remote Sens. 1987. 53. № 10. P. 1435-1441.
- R o b i n s o n V. B., F r a n k A. U., B l a z e M. A. Expert systems and geographic information systems: review and prospects//Journal of Surveying Engineering. 1986. Vol. 112. № 2. P. 119-130.
- R o l l a n d - M a y C. Notes sur les espaces géographiques flous//Bull. Assoc. géogr. fr. 1984. 61. № 502-503. P. 159-165.,
- R o l l a n d - M a y C. La théorie des ensembles flous et son intérêt en géographie//Espace géogr. 1987. Vol. 16. № 1. P. 42-50.
- R u s h t o n S., M a u t n e r A. J. The deterministic model of a simple epidemic for more than one community//Biometrika. 1955. 42. P. 126-132.
- R u s t o n G. Map Transformations of Point Patterns: Central Place, Patterns in Areas of Variable Population Density//Papers and Proceedings, Regional Science Assn. 1971. 28. P. 111-129.

- Saint-Julien Th. Techniques statistiques et analyse d'un processus d'industrialisation//*Inf. et sci. hum.* 1981. N 50. P. 41-60.
- Samet H. Applications of Spatial Data Structures. Computer Graphics, Image Processing, and GIS. Addison-Wesley Publ. Comp. 1990. 507 p.
- Samet H., Shaffer C.A., Nelson R.C., Huang Y., Fujimura K., Rosenfeld A. Recent Developments in Quadtree-Based Geographic Information Systems//*Proceedings of the Second International Symposium on Spatial Data Handling, Seattle, Washington, 1986.* P. 15-32.
- SAS User's Guide: Statistics, version 5 edition. Cary, N.C., SAS Institute Inc., 1985.
- Selvin S., Merrill D., Sacks S., Wong L., Bedell L., Schulman J. Transformations of maps to investigate clusters of disease. Lawrence Berkeley Laboratory, Univ. of California, 1984. 33p.
- Schenk T. Auf dem Weg zu Experten-systemen für die digitale Kartierung//*Bildmess. und Luftbildw.* 1988. Vol. 56. № 2. S. 53-65.
- Skoda L., Robertson J.C. Isodemographic map of Canada//*Geogr. Pap. Lands Dir. Dep. Environ.* 1972. № 50. VIII. 34 p.
- Sliwa A. Kartograficzne metody ekonomicznej transformacji przestrzeni//*Folia geogr. Ser. geogr.-econ.* 1978. 11. S. 144-160.
- Srnka E. K současnému stavu teorie a praxe kartografické generalizace//*Geod. a kartogr. obz.* 1978. 24. № 8. S. 188-192.
- Stegen L. Tools for automation of map generalization: the filter theory and the coding theory//*Automation the new trend in cartography.* Budapest, Hungary, 1974. P. 66-95.
- Stevens B.H. An application of game theory to a problem in locational strategy//*Regional Science Association. Papers and Proceedings.* 1961. 7. P. 143-157.
- Tikunov V.S. An algorithm for calculating the indices of uniformity of settlement location and their mapping//*Mathematical processing of cartographic data.* Tallinn, 1979. P. 88-89.
- Tobler W.R. Pseudo-Cartograms//*The American Cartographer.* 1986. 13. № 1. P. 43-50.
- Tobler W., Zitan Chen A Quadtree for Global Information Storage//*Geographical Analysis.* 1986. 18. № 4. P. 360-371.
- Töpfer F. Kartographische Generalisierung. Gotha-Leipzig, 1974.
- Uzan L.J. Images d'espaces//*Acta geogr. (Fr.).* 1989. № 79. P. 12-19.
- Varraso I. Sulle applicazioni geografiche delle catene di Markov finite//*Boll. Soc. geogr. ital.* 1981. 10. № 1-3. P. 171-195.
- Waterman D.A. A Guide to Expert Systems, Reading, MA: Addison-Wesley, 1986.
- Waugh T.C. A response to recent papers and articles on the use of quadtrees for geographic information systems//*Proceedings second international symposium on spatial data handling.* Seattle, 1986. P. 33-37.

- White M.S., Griffin P. Piecewise linear rubber-sheet map transformation//The American Cartographer. 1985. 12. № 2. P. 123-131.
- Wonders L.J. The junior atlas of Alberta: introducing new mapping techniques to young students//Can. Geographer. 1980. 24. № 3. P. 306-311.
- Yearbook of International Trade Statistics, 1978. Vol. 1. Trade by country, New York, 1979. 1180 p.
- Yee Leung Basic issues of fuzzy set theoretic spatial analysis//Pap. Reg. Sci. Assoc. 1985. 58. P. 35-46.
- Yoeli P. Cartographic Drawing with Computers. Nottingham, 1982. 138 p.
- Zadeh L.A. Fuzzy sets//Information and Control. 1965. Vol. 8. P. 338-353.
- Zhang Woaxing, Li Haibong, Zhang Xiaochan
MAPGEN, an expert system for automatic map generalization//Proc. 13-th
Int. Cartogr. Conf., Morelia, oct. 12-21, 1987. Vol. 4. Aguascalientes, 1988.
P. 151-157.
- Zhao Rui, Liu Zhengdong The use of fuzzy sets in the assessment
of land resources//Dili kexue (Sci. geogr. sin.), 1985. 5. № 1. P. 68-72.
- Zhao Xiao-Chun La generalisation cartographique par l'intelligence
artificielle//Cah. CERMA, 1988. № 8. P. 91-126.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	3
Глава I. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ В ТЕМАТИЧЕСКОЙ КАРТОГРАФИИ	6
I.1. Основные направления развития моделирования в тематической картографии	6
I.2. Методы моделирования тематического содержания карт	16
I.3. Роль автоматизации в тематической картографии	27
Глава II. КОНСТРУИРОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ СТРУКТУРЫ ЯВЛЕНИЙ	33
II.1. Модели структуры пространственных характеристик явлений ..	33
II.1.1. Модели пространственного размещения точечных объектов	33
II.1.2. “Гравитационные” модели структуры явлений ...	36
II.1.3. Модели аппроксимации поверхностей пространственных географических распределений	52
II.2. Модели структуры содержательных характеристик явлений	61
II.2.1. Модели снижения размерности многомерных географических данных	61
II.2.2. Моделирование типологических синтетических характеристик	69
II.2.3. Моделирование оценочных синтетических характеристик	83
Глава III. КОНСТРУИРОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ ЯВЛЕНИЙ	100
III.1. Модели взаимосвязей пространственных характеристик явлений	100
III.1.1. Информационные модели взаимосвязей пространственных характеристик явлений	101
III.1.2. Корреляционные модели взаимосвязей пространственных характеристик явлений	109
III.2. Модели взаимосвязей содержательных характеристик явлений	124
III.2.1. Корреляционные модели взаимосвязей содержательных характеристик явлений	124
III.2.2. Таксономические модели взаимосвязей содержательных характеристик явлений	147
III.2.3. Модели взаимосвязей содержательных характеристик явлений по качественным показателям ...	155

Глава IV. КОНСТРУИРОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ ДИНАМИКИ ЯВЛЕНИЙ	163
IV.1. Модели динамики пространственного распространения явлений	163
IV.1.1. “Гравитационные” модели динамики пространственного распространения явлений	164
IV.1.2. Стохастическое моделирование пространственного распространения явлений	169
IV.1.3. Диффузионные модели пространственного распространения явлений	180
IV.2. Модели динамики содержательного развития явлений	186
IV.2.1. Марковские модели динамики содержательного развития явлений	186
IV.2.2. Регрессионные модели содержательного развития явлений	192
Глава V. КОНСТРУИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ МАТЕМАТИКО-КАРТОГРАФИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ	196
V.1. Конструирование цепочкообразных моделей	196
V.2. Конструирование сетевых моделей	209
V.3. Конструирование древовидных моделей	216
Глава VI. СОЗДАНИЕ АНАМОРФИРОВАННЫХ КАРТОГРАФИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ	232
VI.1. Краткий обзор методов создания анаморфированных картографических изображений	232
VI.2. Численный метод получения анаморфированных картографических изображений	238
VI.3. Применение анаморфированных изображений в географических исследованиях	241
Глава VII. НАДЕЖНОСТЬ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕМАТИЧЕСКОГО СОДЕРЖАНИЯ КАРТ	259
VII.1. Оценка надежности путем сравнения алгоритмов моделирования	259
VII.2. Картографирование оценок надежности моделирования	270
VII.3. Многовариантность моделирования как средство оценки надежности моделирования	277
VII.4. Проблемы моделирования и картографирования нечетких географических систем	291
Глава VIII. АВТОМАТИЗАЦИЯ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ КАРТОГРАФИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ	307
VIII.1. Автоматизированное создание аналитических карт	307
VIII.2. Автоматизация создания синтетических карт	324
VIII.3. Автоматизация картографической генерализации	337

Глава IX. ГЕОИНФОРМАТИКА И КАРТОГРАФИЯ	343
IX.1. Географические информационные системы	343
IX.2. Экспертные системы	353
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	368
ЛИТЕРАТУРА	371
ОГЛАВЛЕНИЕ	397

Vladimir S. Tikunov

MODELLING IN CARTOGRAPHY

During its centuries-old history cartography experienced both triumphs and stagnation periods but mankind invariably uses maps in its life. They became inalienable companions of schoolchildren and geologists, pilots and builders, specialists in land reclamation and ecology. Progress in cartography is connected not only with perfection of traditional branches but with appearance of new technologies, investigation spheres and modern equipment as well. In this book we deal with several promising branches of science connected with cartography.

One of the promising branches is connected with cartographic aspects of geoinformatics. Elaboration and use of GIS are carried on for more than 30 years already, but we still consider them to be something new and this is true. Historically GIS (in their modern sense) developed at information-searching systems basis and later at cartographic data banks. Information systems were considered to be the first stage of automated map compiling. Later mathematic-cartographic modelling and automated compiling blocks were included into their structure. Regarding maps as means of geographical analysis and separating users subsystems, GIS began to cover sphere of maps use as well. Practically all GIS (there are several hundreds of them in the World) include map compiling possibilities or use cartographic materials as sources of information.

In spite of this fact, GIS functions are broader than their «motherland» cartography which makes them to be an integration basis for branches of geography and other sciences (geology, pedology etc.) in the course of interdisciplene system investigations. It is clearly seen when knowledge model is used. Specific information, mainly technical approach sometimes is contrasted to such a broad view. The former considers GIS to be a system for geographical

data accumulation and storage, instrument for fixation and description of phenomena at the Earth's surface. This used to be a geographical task for the last centuries but nowadays is done at a modern computer level reflecting a return to the XIX century descriptions by means of electronics.

Nowadays GIS may be regarded as interactive systems, which may collect, systematise, storage, process, assess transmit, present and disseminate data as well as means of new information and knowledge accumulation about spatial-temporal geographical phenomena.

Recently works at elaboration of intellectual GIS promoted works at the problem of integrated systems particularly for global environmental monitoring and modelling when separate tasks regarding their global aspects are solved, for resources management, environmental impact assessment of great economic projects, sustainable territorial development purposes etc.

Developing of «spatial statistics» methods taking into consideration the fact that available mathematical statistics do not meet Earth sciences demands should be marked as prospective. Evidently a sphere of investigations devoted to methods of spatial mathematics and even more spatial modelling or rather (regarding spatial temporal character of geographical phenomena) spatial-temporal modelling should be promoted.

Mathematical-cartographic modelling is one of the branches of such modelling. Mathematical-cartographic modelling is system combination of mathematical and cartographic models during compiling and use of maps as well as for other geographic investigations. Such combination of modelling reinforces valuable characteristics of both components: mathematical - for formalisation and automation of geographical systems investigations and cartographic for their spatial visualisation. In the process of mathematical-cartographic modelling not only elementary combinations, consisting only one group of models may be created, but also complex combinations (e.g., catenary, netlike and treelike structure combinations) can be established, when mathematical models and maps alternating as it were, permit the optimisation of the modelling process, improve it, detect possible errors etc. Availability of

a broad variety of algorithms and computers enabled to make the modelling process multi-variant which is revealed in tasks statement, information supply, algorithms realisation and results presentation first of all in a graphic form.

Several words should be said about classification which particularly is connected with one of the principle geographic and other Earth sciences task - regionalization. As the 2 Seminar on Classification Methodology and Theory stated: «Nowadays mankind faces a new scientific-technical revolution connected with use of artificial intellect and informatics as productive forces. That is why classification as means of generalisation and organisation of knowledge is of special importance. It is necessary to build the foundation for informatics and artificial intellect - data bases, which should include knowledge accumulated by mankind in science, technology, production and art. The time came when it is necessary to increase sharply rates of classifications creation, improve their quality and reduce their production costs».

Achievements at this respect are known, but new tasks demand reevaluation and development of classification theory and methods conformably to a system «society - natural environment». Classification elaboration based on fuzzy sets is of primary importance. In this case territorial units distribution in different taxons is evaluated by a degree of affiliation within an interval from 0 to 1. Special algorithms, methods of their application in geography were elaborated.

Certain perspectives in cartography are connected with possibilities of purposeful cartographic base transformation in order to represent at its background different geographic characteristics connected with it i.e. anamorphoses creation in their modern understanding. Linear and area anamorphoses are distinguished among anamorphic images. Area anamorphoses (representations produced from traditional maps, in which a given density - of population, territorial distribution of incomes, consumption of certain products etc. - is represented) have been constructed and employed with particular emphasis. In these, the areas of the territorial units are represented proportionally to the values of the index, established on the basis of the anamorphosis.

Anamorphic images should be distinguished from cartoids. Cartoids are ideal graphic images during creation of which existing spatial proportions are not considered. Anamorphoses creation in contrast to cartoides demands

use of initial cartographic images in their traditional forms which make a basement for further purposeful and substantial transformations.

Multi-variant approach at all stages of meaningful aspects of maps contents modelling is important. Different information sources characterising a certain phenomenon may be used at the stage of information supply. It is especially important for characterising abstract concepts for example - level of social-economic development of different states. This characteristic does not consist of a fixed list of parameters because different researchers have different approaches in this respect. But there is no doubt that it should exist and social-economic differences among states may be presented. Different schemes of initial data presentation may be used. They are processed using the same algorithm and presentation of modelling results at maps in order to make only information modelling supply responsible for reliability of final conclusions.

Another way of multi-variant approach is connected with a possibility to process one data array using different algorithms. In this case one should efficiently control that all algorithms reflect the gist of phenomena being modelled. It is also necessary to take into consideration accuracy of the received data after using different algorithms. It should be approximately the same which is important to receive the final joint result. Parallel use of several mathematical methods to receive one final variant becomes more and more popular, broad computer distribution and software modernisation benefit this process.

The third way of multi-variant approach is connected with a possibility to represent modelling results by means of different methods of cartographic representation. Maps «language» is so rich and flexible that in spite of many-centuries history of its use new and new variants of different phenomena representation at maps appear till now and this process by all means will continue in future. A certain advance in elaboration of new methods of representation is connected with automation. Technical means enable to use such methods which otherwise are very labour demanding and not effective. Variety of methods of modelling results representation gives an opportunity to choose a final variant which reflects the gist of a certain phenomenon best of all, is graphically obvious,

expedient for maps reproduction and multiplying technologies. Multi-variant approach, reflected in a possibility of parallel use of data bases, mathematical algorithms and methods of modelling results representation contribute to reliability of the final result.

Graphical representation of systems is important for Earth sciences. Scanner and photographic images and other materials of remote sensing are used successfully for these purposes mainly for dynamics studies, for example human environmental impact. Sometimes they are used with cartographic and other materials. A necessity of rapid readjustment and recomposition of technical systems and more flexible use of their mathematical blocks to solve great variety of non-traditional tasks is now considered in automation of data representation which proved to be important in creation of uniform mass production. This is provided by a great spectrum of technical means used in cartography. Nowadays this spectrum becomes even broader for example due to slide-films and cartographic movies and videofilms. Animated cartoon use for modelling of dynamic situations of environmental pollution by industrial atmospheric emissions is of interest, as well as holography use for imitation of pollutants diffusion in atmosphere, hydrosphere etc.

Учебное издание

Тикунов Владимир Сергеевич

МОДЕЛИРОВАНИЕ В КАРТОГРАФИИ

Зав. редакцией

И. И. Щехура

Редактор

Г. С. Савельева

Художественный редактор

Л. В. Мухина

Переплет художника

В. А. Чернецова

Технический редактор

З. С. Кондрашова

Корректоры:

И. А. Мушникова,

Н. М. Жидкова

ИБ 8151

ЛР № 040414 от 18.04.97

Подписано к печати 9.08.95. Формат 60 x 90 ¹/₁₆.

Бумага офс. № 1. Усл. печ. л. 25,0. Уч.-изд. л. 23,75.

Тираж 2000 экз. Заказ 2064. Изд. 5680

Ордена “Знак Почета” издательство Московского университета.
103009, Москва, ул. Б. Никитская, 5/7.

Смоленская областная ордена “Знак Почета”
типография им. Смирнова.

214000, Смоленск, пр-т Ю.Гагарина, 2.

тел. 3-01-60; 3-14-17; 3-46-20