


На правах рукописи

ПШЕНИЧНИКОВ Артем Евгеньевич

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ МОРФОМЕТРИЧЕСКИЙ
АНАЛИЗ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ
ПО СНИМКАМ И КАРТАМ
ПРИ ТЕМАТИЧЕСКОМ КАРТОГРАФИРОВАНИИ**

25.00.33. - Картография

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

в печать 10.05.04
Декан географического факультета
*Н.С. Кашин*

Москва 2004



Работа выполнена на кафедре картографии и геоинформатики географического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова

Научный руководитель:

доктор географических наук,
старший научный сотрудник

В.И. Кравцова

Официальные оппоненты:

доктор географических наук,
профессор

Ю.Г. Симонов

кандидат географических наук

Н.Н. Комедчиков

Ведущая организация:

Институт геоэкологии РАН

Защита состоится 25 ноября 2004 г. в 15 часов на заседании диссертационного совета по геоморфологии и эволюционной географии, гляциологии и криологии Земли, картографии и геоинформатике (Д 501.001.61) в Московском государственном университете им. М.В. Ломоносова по адресу: 119992, Москва, ГСП-2, Ленинские горы, МГУ, географический факультет, ауд. 2109.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке географического факультета МГУ, 21 этаж

Автореферат разослан *21* октября 2004 г.

Отзывы на автореферат (в двух экземплярах, заверенных печатью) просим отправлять по адресу: 119992, Москва, ГСП-2, Ленинские горы, МГУ, географический факультет, ученому секретарю диссертационного совета Д 501.001.61.

Факс: (095) 932-88-36

Ученый секретарь
диссертационного **совета**,
профессор



Ю.Ф. Книжников

2005-4
19148

908443

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. Морфометрия — один из разделов картографии - в настоящее время развивается вширь и вглубь, охватывая новые объекты, совершенствуя методику и технику анализа [Берлянт, 1984]. Морфометрический анализ стал все чаще применяться в науках о Земле. Так, в ландшафтоведении развивается математическая морфология ландшафта [Викторов, 1986, 1998], в лимнологии на основе изучения формы озерных котловин исследуют их генезис и свойства озерных вод [Верещагин, 1930; Муравейский, 1960], в геоморфологии морфометрический анализ давно и успешно используется как метод изучения рельефа [Симонов, 1972, 1998; Спиридонов, 1970, 1975]. Большой интерес к форме изучаемых объектов объясняется тем, что внешний вид объекта и его сущность связаны между собой [Симонов, 1998]. При этом исследователи исходят из того, что каждому определенному типу объектов свойственна своя, присущая только этому типу, форма; поэтому появляется проблема количественной оценки формы объекта и возможных отклонений от «стандарта», «эталона». Измерительные операции для количественной оценки чрезвычайно трудоемки. Особо остро эти проблемы встают при изучении большого количества объектов, в связи с чем возникает необходимость автоматизации измерительных и вычислительных процессов.

Используемые в настоящее время методы морфометрического анализа, реализованные в программных средствах, направлены главным образом на изучение рельефа, но не предназначены для изучения других географических объектов. Поэтому необходимо создание средств многоаспектного тематического морфометрического анализа, систематизации и совершенствования морфометрических показателей, применяемых в различных направлениях географических исследований. В связи с широким применением космических снимков как нового источника информации о земной поверхности необходимо учесть особенности этого источника в морфометрическом анализе. В свою очередь разработка методов морфометрического анализа обеспечивает более полное использование аэрокосмической информации, что представляет актуальную задачу.

Цель работы состоит в разработке и практической реализации методики многоаспектного автоматизированного морфометрического анализа географических объектов по снимкам и картам.

В соответствии с целью исследования в работе необходимо:

1. Проанализировать и обобщить опыт применения морфометрических показателей в различных разделах тематической морфометрии, изучить возможности использования и совершенствования морфометрических показателей.
2. Провести сравнение программных средств, обеспечивающих морфометрический анализ. Выявить преимущества и недостатки существующих программ.
3. Разработать методику многоаспектного автоматизированного морфометрического анализа географических объектов по снимкам



и картам. Реализовать ее в доступной для широкого круга пользователей и простой (в математическом отношении) компьютерной программе, обеспечивающей широкий спектр тематических морфометрических исследований с картографическим представлением результатов.

4. Апробировать разработанную методику и программное средство на примере изучения озер Курганской области.

Эти положения и определили структуру работы, в 1-й главе которой проводится анализ и обобщается опыт применения морфометрических показателей в различных разделах тематической морфометрии, изучаются возможности использования и совершенствования морфометрических показателей. Во 2-й главе анализируются существующие программные средства, обеспечивающие морфометрический анализ, обосновывается и характеризуется авторская программа «Морфометрический анализ», проводится сравнительная оценка разработанной программы и наиболее полной из существующих программы «FRAGSTATS». В 3-й главе рассматриваются результаты применения разработанной методики, воплощенной в программу, позволившие получить новые географические закономерности строения озерной сети.

Методика исследования. Исследование базируется на теоретических и практических основах картографии, морфометрии, а также применения картографо-аэрокосмического метода географических исследований, заложенных в работах К.А. Салищева, Н.М. Волкова, А.М. Берлянта, Ю.Г. Симонова, А.И. Спиридонова, А.С. Викторова, В.А. Николаева, Г.Ю. Верецагина, С.Д. Муравейского, Г.Г. Самойловича, В.А. Червякова, Р.Х. Пириева, В.И. Кравцовой, Ю.Ф. Книжникова и др. В основу работы положены личные исследования автора в период с 2000 по 2004 гг. в составе экспедиций Курганского университета, материалы, полученные в лаборатории аэрокосмических методов кафедры картографии и геоинформатики географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова.

Научная новизна исследований заключается в следующем:

1. Проведено сравнение программ, позволяющих выполнять морфометрический анализ объектов. Выявлены их достоинства и ограничения, доказана необходимость создания программы, удобной для использования специалистами-географами.
2. Обоснована система морфометрических показателей и разработана компьютерная программа «Морфометрический анализ», позволяющая проводить многоаспектный тематический анализ географических объектов с картографическим представлением результатов.
3. В результате применения разработанной методики и программы «Морфометрический анализ» при исследовании озер по космическим снимкам на примере семиаридных регионов Западной Сибири установлена связь морфометрических показателей озер с их генетическими, гидрологическими и гидрохимическими характеристиками

(выявлено влияние величины удельного водосбора

и площади озера на минерализацию озера; определены диапазоны значений морфометрических показателей, характерные для разных генетических типов озер и др.).

4. Обобщение опыта применения морфометрического анализа в тематической картографии позволило обосновать необходимость унификации и совершенствования морфометрических показателей. Предложен новый раздел тематической морфометрии — инженерно-географическая морфометрия, к задачам которой относятся измерения и количественные исследования территории по снимкам и картам при изысканиях, проектировании, строительстве и эксплуатации инженерных сооружений.

Практическое значение работы заключается в том, что она открывает новые возможности дальнейшего внедрения количественных методов в географические исследования, расширяет сферу применения картографо-аэрокосмического метода при исследовании географических объектов по снимкам и картам в целях выявления новых закономерностей, а также в увеличении эффективности использования космических снимков и карт. Разработанная программа вооружает географов новым эффективным средством морфометрического анализа. Выводы, полученные при морфометрическом анализе озер Курганской области, используются при планировании гидрологических и гидрогеологических работ в областных организациях Госкомприроды. Методика морфометрического анализа и созданная компьютерная программа применяются в курсах лекций и практических занятий естественнонаучного факультета Курганского государственного университета. Подготовленный по результатам работы обучающий CD-ROM «Морфометрический анализ» используется при проведении учебных курсов по гидрологии, социально-экономической географии, ландшафтоведению в Курганском университете и курсов по повышению квалификации специалистов в Курганской области.

Материалы диссертации могут быть рекомендованы к использованию в практике территориальных служб Министерства природных ресурсов, подразделений Росгидромета; для использования географическими факультетами университетов и других учебных заведений в учебном процессе; специалистам, применяющим морфометрические методы для решения различных прикладных задач.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка использованной литературы. Работа содержит: 138 страниц машинописного текста, 36 иллюстраций и 19 таблиц. Библиография включает 112 наименований.

Апробация работы и публикации. Основные результаты исследований докладывались автором на 5 российских и международных конференциях: Всероссийский ГИС-Форум (Москва 2001), IX Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов-2002», III Всероссийская конференция «Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении и лесном хозяйстве» (Москва, 2002), XI

Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов-2004», VI Всероссийский гидрологический съезд (Санкт-Петербург, 2004). По теме диссертации опубликованы 4 статьи, в том числе - 2 в изданиях, рекомендованных ВАК, и тезисы 4 докладов. Исследования выполнены на кафедре картографии и геоинформатики географического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова.

Автор выражает глубокую благодарность научному руководителю д.г.н., в.н.с. В.И. Кравцовой, проф. А.М. Берлянту, проф. Б.Б. Серапинасу, проф. Ю.Ф. Книжникову, к.г.н. Т.Г. Сватковой, к.г.н. А.В. Абросимову, а также всем сотрудникам кафедры картографии и геоинформатики географического факультета МГУ, которые принимали активное участие в обсуждении данной работы и вносили предложения по ее совершенствованию.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Морфометрический анализ в исследовании природных и хозяйственных объектов и тематическом картографировании

Работу предваряет краткий обзор истории развития морфометрии, ее соотношения с картометрией. Картометрия предусматривает измерения по картам плановых координат объектов, аппликат, длин, расстояний, площадей, объемов, углов и направлений. Морфометрия же использует результаты картометрических определений для количественной оценки форм и структур объектов, а также занимается разработкой и изучением способов этой оценки [Берлянт, 1986].

Морфометрия долгое время развивалась в рамках географии: с одной стороны ее считали разделом геоморфологии, с другой — картографии. Поэтому существует несколько определений понятия морфометрия, соответствующих базовому пониманию ее задач. Наиболее существенны два направления в понимании морфометрии: геоморфологическое и картографическое. К первому относится концепция Ю.Г. Симонова, считающего, что морфометрия - научное направление геоморфологии, которое исследует количественные (геометрические) свойства рельефа земной поверхности [Симонов, 1998]. Другое, более широкое понимание морфометрии содержится в определении А.М. Берлянта, который считает, что морфометрия предназначена для измерения и исчисления по картам показателей формы и структуры различных географических объектов [Берлянт, 1986]. Автор, принадлежащий к научной школе географической картографии, придерживается такого широкого понимания, считая, что морфометрия занимается определением показателей, характеризующих форму и структуру широкого круга географических объектов и явлений. При этом основой для расчетов могут быть картометрические данные, данные геодезических работ, данные, полученные при обработке космических снимков.

Как метод изучения рельефа морфометрический анализ используется давно. Вслед за Ю.Г. Симоновым, в развитии идей морфометрического анализа выделено три основных этапа. В течение первого этапа закладывались основы морфометрического анализа, создавалось топографическое описание земной

поверхности. Второй этап начался, когда накопился опыт измерений рельефа, и были изданы подробные топографические карты и другие географические карты с количественной характеристикой рельефа. К третьему этапу относят работы XX столетия и настоящего времени. Особенностью этого этапа является большое разнообразие морфометрических карт и увеличение количества непосредственно морфометрических расчетов в связи с ростом числа морфометрических показателей, расширением территориального охвата исследуемых районов.

В третьем этапе целесообразно выделить подэтап, связанный с развитием космической съемки, компьютерной обработки изображений, систем автоматизированного картографирования и географических информационных систем. Его начало ознаменовано появлением в 60-х годах фотоснимков, сделанных с пилотируемых кораблей, а позже с орбитальных станций и картографических спутников, и дальнейшим развитием методов сканерной съемки с ресурсных спутников. Космические снимки предоставляют информацию о пространственных отношениях объектов и явлений, их взаимном расположении. Они стали новым стимулом в развитии теории и практики морфометрического анализа. Большой объем информации способствовал развитию компьютерных систем обработки изображений, появлению специализированных программ, их совершенствованию и автоматизации морфометрических расчетов. Как один из перспективных путей ускорения и улучшения качества дешифрирования снимков и обработки информации надо назвать новое направление работ, предусматривающее более широкое использование рисунка изображения, особенно его количественных характеристик, как индикатора определенного вида ландшафтов [Викторов, 1998].

В рамках картографического метода исследования сформировалось особое направление - тематическая морфометрия [Берлянт, 1986], которая занимается количественными исследованиями форм и структур объектов на тематических картах. А.М. Берлянтом выделено несколько разделов тематической морфометрии (например, геоморфологическая морфометрия, структурная морфометрия, ландшафтометрия, гидрологическая морфометрия и др.) и определены их объекты и предметы исследования [Берлянт, 1986].

В дополнение к ним автором предложено в качестве нового раздела тематической морфометрии выделить *инженерно-географическую морфометрию*, к задачам которой относятся измерение и исследование территории при изысканиях, проектировании, строительстве и эксплуатации инженерных сооружений. Инженерно-географическая морфометрия тесно связана со многими разделами тематической морфометрии, а особенно с геоморфологической морфометрией, но, по мнению автора, эти разделы имеют перед собой совершенно разные задачи и объект исследования, что обуславливает выделение инженерной морфометрии в отдельный раздел.

В работе дается анализ показателей, используемых тематической морфометрией. Группы картометрических и морфометрических показателей, которые наиболее часто используются в разных разделах тематической

морфометрии, представлены в таблице 1, в основу которой положены разработки А.М. Берлянта [Берлянт, 1986, 2001].

Таблица 1

Основные показатели, используемые в тематической морфометрии

Раздел тематической морфометрии	Показатели						
	Картометрические		Морфометрические				
	Размера	Ориентировки	Формы	Плотности	Взаиморасположения	Состава	Расчленения
Геоморфологическая морфометрия	+	+	+	+	+	+	+
Структурная морфометрия	+	+	+		+	+	+
Гидрологическая морфометрия (суши)	+	+	+	+	+	+	
Морфометрия морей и океанов	+	+	+	+			+
Ландшафтometрия	+	+	+	+	+	+	
Морфометрия растительного покрова	+	+	+	+	+	+	
Педометрия	+	+	+	+	+	+	
Социально-экономическая морфометрия	+	+	+	+	+	+	
Медико-географическая морфометрия	+	+	+	+			
Эколого-географическая морфометрия	+	+	+	+			
Морфометрия планет и небесных тел	+	+	+	+	+		+
Инженерно-географическая морфометрия	+	+	+	+	+	+	+

Количество используемых сейчас морфометрических показателей велико и продолжает расти. Показатели, которые рассчитываются по формулам из курсов планиметрии, стереометрии и аналитической геометрии, обычно не вызывают сомнений. В то же время есть показатели, формулы расчета которых

не отражают их названия (густота горизонтального расчленения) либо из названия показателя не ясно, что они выражают (коэффициент окатанности).

Проблему недостоверности и недостатков показателей раскрыл Ю.Г. Симонов в своей работе «Морфометрический анализ рельефа» [Симонов, 1998]. Эта проблема решается разработкой новых коэффициентов или улучшением существующих. В таблице 2 приведена характеристика ряда морфометрических показателей, указаны их недостатки и даны предложения по совершенствованию.

Таблица 2

Характеристика морфометрических показателей

Показатель	Формула	Недостатки используемого показателя	Предложения по совершенствованию
Коэффициент формы	$K_1 = S/P$, где S – площадь, P – периметр	Описывает не саму форму объекта, а одну из ее характеристик	Изменить название (например, коэффициент компактности)
Коэффициент формы	$K_2 = P^2/S$, где P – периметр, S – площадь	Характеризует не саму форму в целом, а одну ее черту - кругообразность	Изменить название (например, мера кругообразности контура)
Степень расчленения контура	$K_3 = P_{кон}/P_{окр}$, где $P_{кон}$ – периметр контура, $P_{окр}$ – периметр окружности, равной по площади данному контуру	Формула не отражает сущность показателя	Использовать другую формулу (например, формулу С.Д. Муравейского)
Горизонтальное расчленение	$K_4 = \Sigma L/S$, где ΣL – сумма длин расчленяющих линий, S – площадь территории	Показывает удельную длину расчленяющих линий, но не расчленение поверхности	Ввести в знаменатель величину, отражающую количество линий
Вертикальное расчленение	$K_5 = H_{max} - H_{min}$, H_{max} – максимальная высота, H_{min} – минимальная высота	Характеризует не вертикальное расчленение, а амплитуду высот	Изменить название коэффициента
Плотность	$K_6 = n/S$, n – количество объектов, S – площадь территории	Характеризует не плотность объектов, а их встречаемость (частоту) на определенной территории	Изменить название коэффициента

Следует отметить, что все новые морфометрические коэффициенты, постоянно появляющиеся и исчисляющиеся сейчас сотнями, должны тщательно рассматриваться. Кроме того, необходима унификация морфометрических показателей, которая помогла бы привести все их множество к одной системе; одновременно следует выделить группу наиболее применяемых, эффективных показателей, позволяющих проводить многоаспектный анализ географических объектов.

2. Компьютерное обеспечение морфометрического анализа

Морфометрический анализ географических объектов имеет дело с многочисленными числовыми данными - результатами измерений разнообразных характеристик объектов. При этом объем измерений возрастает по мере увеличения территории исследования или количества объектов. В связи

с этим возникает необходимость автоматизации процессов измерения параметров и обработки получаемых результатов для расчетов характеристик. В настоящее время существует большое количество компьютерных программ, с помощью которых можно проводить морфометрический анализ. В качестве примеров можно указать: *ERDAS Imagine Professional*, *LESSA*, *ENVI*, *Mag*, *Surfer*. Но в большинстве своем такие программы позволяют рассчитывать лишь самые простые и общие показатели - длину, площадь и периметр объекта, а также характеристики рельефа (уклон склона, углы наклона). Такое ограничение, по мнению автора, связано с тем, что под морфометрическим анализом почти всегда подразумевается лишь анализ рельефа, а другие виды морфометрического анализа упускаются из вида. Чтобы выявить наличие более разноплановых средств морфометрического анализа автором был проведен поиск соответствующих программ в специализированной литературе и в сети Internet. В ходе поиска выявлены две программы («FRAGSTATS» и «Patch Analyst»), позволяющие рассчитывать необходимые количественные характеристики объектов. Кроме того, в Лаборатории дистанционного мониторинга геологической среды Института геоэкологии РАН под руководством А.С. Викторова разработан программный комплекс интерпретации материалов дистанционных съемок «Голубой круг», основанный на широком использовании текстурного анализа снимков и индикационного дешифрирования, реализующего получение данных о труднонаблюдаемых компонентах ландшафта [Victorov, 2003].

Анализ программы FRAGSTATS, созданной в 1995 году в Орегонском университете США [McGarigal and Marks, 1995] и предназначенной для вычисления разнообразных ландшафтных показателей (landscape metrics), показал, что она отличается наибольшей полнотой. Однако эта программа, предназначенная в первую очередь для ландшафтоведов, узкоспециализирована. Положительной чертой программы является то, что она предусматривает расчет большого количества показателей, включая такие сложные, как показатель разброса и соприкосновения (Interspersion and juxtaposition index), показатель фрактальности веса (Mass fractal dimension) и др. Главный недостаток программы — вывод результатов расчетов на экран осуществляется только в табличном виде.

Таким образом, обзор существующих программ показал, что при большом количестве тематических областей применения морфометрических показателей их автоматизированный расчет обеспечен лишь в целях характеристики рельефа и ландшафтного рисунка.

Для восполнения этого пробела, обеспечения наиболее широко используемых областей тематической морфометрии, проведения значительных по количеству расчетов морфометрических показателей автором была написана специальная программа «Морфометрический анализ». Она реализована на языке программирования MapBasic. Эта программа, разработанная в рамках геоинформационной оболочки «MapInfo», предназначена для морфометрического анализа географических объектов по картам, а также по

результатам первичной компьютерной обработки аэрокосмических снимков. Главные задачи, поставленные при разработке программы, следующие:

- 1) автоматизация процесса расчета и обработки морфометрических показателей;
- 2) вывод результатов на экран не только в табличной форме, но и в виде карты или сообщения;
- 3) максимально возможное упрощение диалога пользователь программа;
- 4) проверка возможностей языка программирования MapBasic для написания программ такого типа.

Программа организована как система ниспадающих меню; на ее первом уровне выделяются три категории морфометрических показателей:

- характеристики плотности распределения объектов (пункт меню «количество и плотность объектов»);
- показатели, характеризующие форму объектов (пункт меню «форма объектов»);
- критерии, отражающие распределение и соотношение объектов на определенной территории (пункт меню «соотношение объектов»).

Структура программы представлена на рис. 1.



Рис. 1. Структура программы «Морфометрический анализ»

Программа «Морфометрический анализ» позволяет анализировать многие географические объекты: леса, озера, почвенные, растительные и другие ареалы, социально-экономические объекты. Приведенные примеры иллюстрируют результаты работы программы по каждому из трех блоков и разнообразие областей ее применения. Определение плотности объектов показано на примере расчета лесистости территории Курганской области по административным районам (рис. 2). На рис. 3 показан результат определения формы озер Курганской области как индикатора их генетического типа на

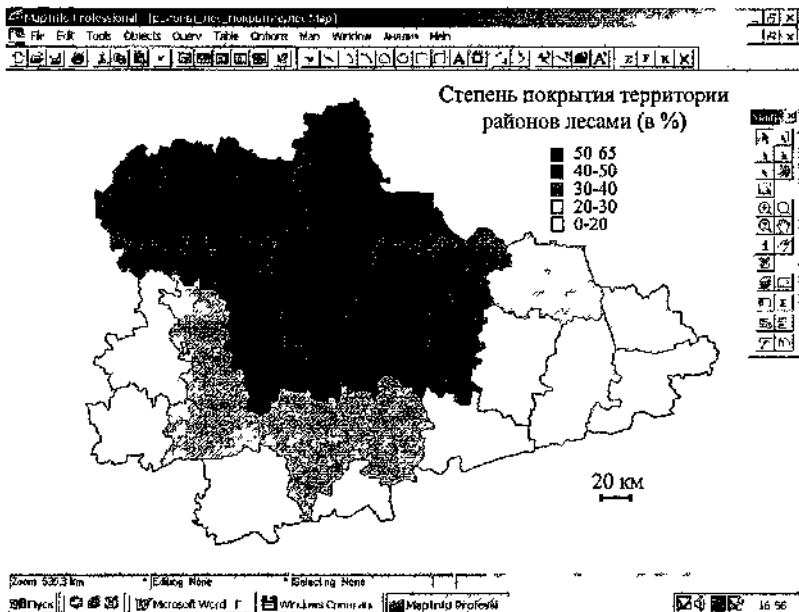


Рис. 2. Пример работы блока «Количество и плотность объектов»: Лесистость Курганской области по административным районам

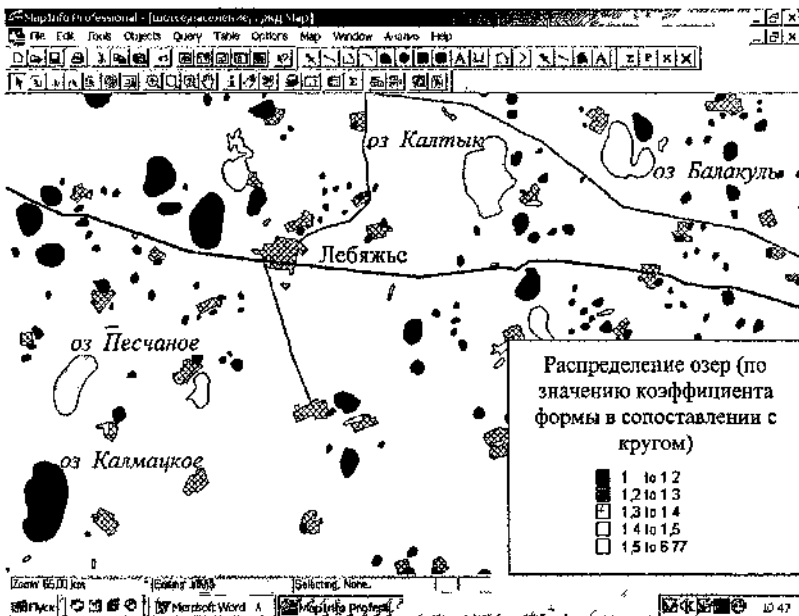


Рис. 3. Пример работы блока «Форма объектов»: Форма озер восточной части Курганской области (по значению коэффициента формы в сопоставлении с кругом)

примере вычисления с помощью программы коэффициента формы в сопоставимости с кругом Пример работы третьего блока программы дан на рис. 4, на котором для двух фрагментов ландшафтной карты определены средняя площадь объекта, коэффициенты раздробленности и разнообразия, как показатели структуры ландшафтного рисунка.

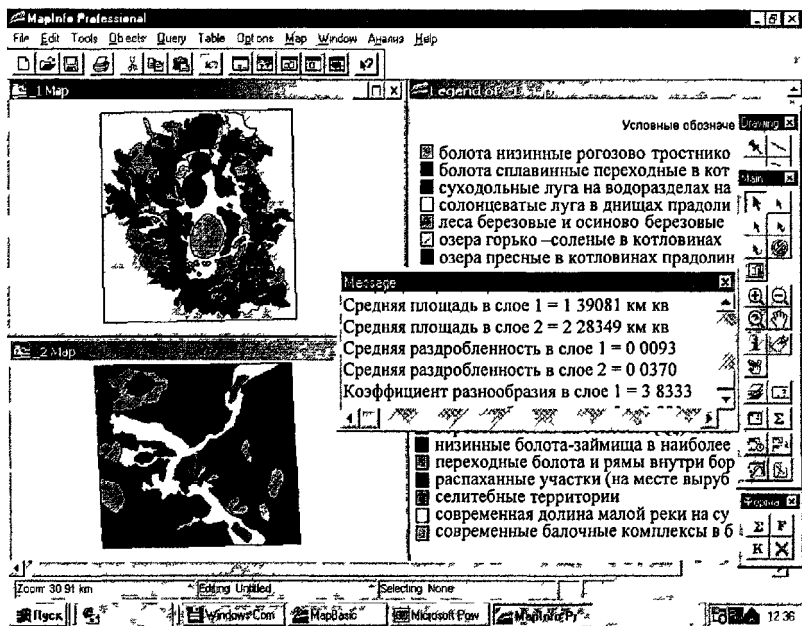


Рис 4 Пример работы блока «Соотношение объектов»
Значения показателей соотношения ландшафтных выделов

Принцип действия программы следующий По космическим снимкам или по картам (снимки и карты должны быть трансформированы, привязаны и приведены в необходимую проекцию) пользователем вручную выделяются в векторном формате выбранные объекты Далее полученный слой полигональных или линейных объектов обрабатывается с помощью программы, то есть по координатам точек контуров или линий рассчитываются морфометрические показатели из числа 15 отобранных показателей, характеризующих количество и плотность объектов, их форму, распределение и соотношение Полученные значения коэффициентов выводятся на экран в виде сообщения, таблицы или карты, после чего проводится их анализ.

Опробование программы «Морфометрический анализ» показало следующее:

- 1) Автоматизация позволила значительно ускорить процессы получения и обработки морфометрических данных, что особенно важно при обработке значительного количества данных (при количестве объектов свыше тысячи).

- 2) Использование в программе простых (в математическом отношении) показателей, не требующих для расчета больших формул, облегчает понимание процесса и работу с программой широкому кругу пользователей и делает возможным дополнение функций программы исследователями, не имеющими специальных навыков программирования.
- 3) Доступности программы для широкого круга пользователей способствует также то обстоятельство, что диалог программа - пользователь максимально упрощен.
- 4) Существенное достоинство программы состоит в том, что результаты обработки изображения выводятся на экран тремя способами: в виде карты, в виде сообщения, в виде таблицы.
- 5) Язык программирования MapBasic полностью подходит для написания программ такого типа.

Глава 3. Морфометрический анализ в изучении озер

Составленная программа «Морфометрический анализ» опробована на примере изучения озер. С самого начала становления лимнологии как самостоятельной науки вопросам морфометрии в изучении озер уделялось большое внимание. Морфометрической характеристике озер посвящено много исследований теоретического и регионального характера [Верещагин, 1930; Муравейский, 1960], краткий обзор которых дан в работе. Морфометрический анализ применен нами для изучения озер Курганской области по космическим снимкам. Территория Курганской области, выбранная в качестве полигона исследования, расположена на юго-западе Западно-Сибирской низменности в бассейне среднего течения р. Тобол и отличается большой озерностью — здесь свыше трех тысяч озер, которые занимают более 5% территории (рис. 5). Сосредоточены они преимущественно в северо-восточном и восточном районах области, что связано с близким залеганием водоупорного горизонта (глины нижнего олигоцена - верхнего эоцена) и слабой дренированностью территории. Много озер в центральном и юго-западном районах (на междуречье рек Миасс и Уй). Озера области по размеру небольшие, сравнительно крупных насчитывается около 400, в том числе площадью свыше 1000 га - 20 и более 100 га - 350. 3/4 озер - пресные, большинство их сосредоточено в северо-западной и северной частях области; соленые озера распространены преимущественно в южных и восточных районах. Такое распространение связано с неравномерным распределением по территории области количества осадков и испарения, а также с разной степенью засоленности почв и подстилающих пород.

Изучение озер Курганской области имеет большое практическое значение. На востоке области испытывается дефицит питьевой воды и воды для хозяйственных целей. Особенно актуальна эта проблема в засушливые годы. Научное значение изучения озер данного региона также существенно: типизация озер необходима для выяснения происхождения рельефа, что особенно важно, если учесть дискуссионность вопроса о генезисе некоторых

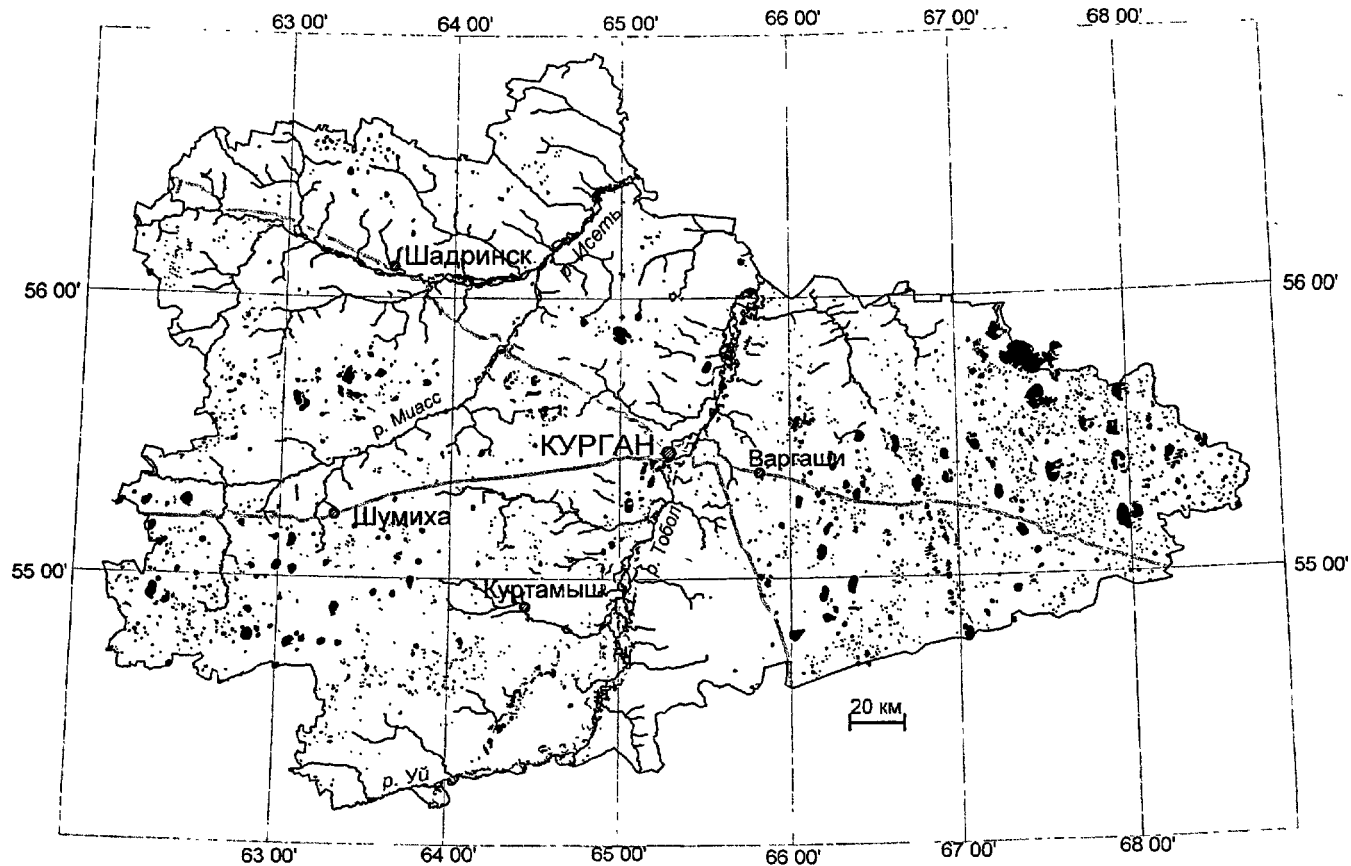


Рис. 5 Озера Курганской области

его форм (гривно-лощинный рельеф на в-ю-в области). В качестве нового направления решения этих вопросов можно предложить определение возможных региональных связей между значениями морфометрических показателей озер и их характеристиками (тип озерной котловины, тип озерных вод, общая минерализация).

Работы по морфометрии озер Курганской области и прилегающих территорий, имеющих схожие природные условия, проводились в 1950-60-х гг [Андреева, 1973; Еремеева и др., 1973; Черняева, Черняев, 1977; Черняева, 1983]. За прошедшее время вполне вероятны изменения значений морфометрических коэффициентов, связанные с колебаниями уровня озер, изменениями климата, антропогенной и биогенной нагрузкой. Кроме того, при использовании карт значения морфометрических показателей могли быть рассчитаны неправильно, поскольку изображение озер на картах не всегда точно соответствует действительности из-за устаревания данных или вследствие генерализации изображения. Поэтому автором проведено определение морфометрических показателей по космическим снимкам, которые по сравнению с картой дают более современную и достоверную

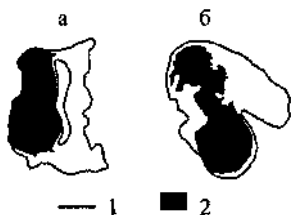


Рис.6. Очертание озер Кабанье (а) и Салтосарайское (б) на карте и снимке: 1 - граница озера по карте масштаба 1:500000 1994г., 2 - площадь озера по снимку ASTER, июль 2001 г (разрешен. 15 м). Судя по карте площадь озер в 1994 г. была существенно больше, в то время как этот год отличается маловодностью. Очевидно, карта отражает ситуацию на многоводные 1969-1971 гг.

информацию о состоянии озера, позволяют точнее рассчитать показатели, отображающие морфометрические характеристики озера (рис. 6).

Для выполнения морфометрического анализа использовались космические снимки, полученные системой ASTER со спутника EOS AMI (Терра) с разрешением 15 м в период с января 2000 г. по август 2003 г. - всего использовалось около 110 снимков. Все имеющиеся снимки были предварительно трансформированы, привязаны и приведены в единую проекцию (Гаусса - Крюгера). На большинство озер имеются снимки, отображающие состояние озера в разные сезоны года, что позволяет точнее определить контур озера. Выбор снимков ASTER связан с тем, что, по сравнению с другими имеющимися в наличии источниками информации (космические снимки МСУ-Э и МСУ-СК со спутника Ресурс-0 с разрешением 45 и 180 м соответственно), данные снимки представляют более детальные материалы.

Связь минерализации озер и величины удельного водосбора

Для озер Южного Урала, расположенных в сходных ландшафтных условиях, характерно наличие связи между минерализацией озерных вод и величиной удельного водосбора озера (отношение площади водосбора к площади озера) [Еремеева и др., 1973]. Физическая причина такой связи минерализации и удельного водосбора кроется в структуре водного баланса

[Эдельштейн, 1991]. Мы задались целью проверить, существует ли такая связь в различных природных зонах исследуемого региона.

В качестве типичного примера лесных озерных групп выбрана группа озер Исетско-Пышминского междуречья. Данные по химическому составу воды и гидрометрическим характеристикам имеются по одиннадцати лесным озерам. График соотношения показателей удельных водосборов и минерализации озер (рис.7а) свидетельствует, что связь минерализации озерных вод и значений удельных водосборов в лесной зоне отсутствует. В то же время результат по 32 озерам, расположенным в пределах лесостепной и степной зон Курганской области (рис. 7б), указывает на отчетливую связь

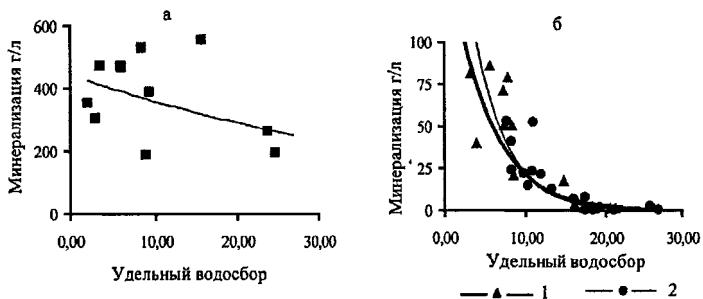


Рис.7. Связь минерализации озер с величиной удельного водосбора в разных природных зонах на территории Курганской области: а - лесная зона; б - лесостепная (1) и степная (2) зоны

минерализации озер с величиной их удельных водосборов. Высокие значения минерализации объясняются тем, что при малых значениях удельных водосборов значительное испарение с поверхности озер и незначительное количество осадков не компенсируются приходом вод с водосбора.

Связь минерализации озерных вод и площади озера

Среди множества факторов, формирующих химический состав воды озер и ее минерализацию, немаловажное значение имеет площадь водного зеркала. Связь этих параметров, особенно характерная для бессточных озер, неодинакова в различных природных условиях. В зоне избыточного увлажнения увеличение площади водоема ведет к уменьшению минерализации, что связано с увеличением поступающих в озеро слабоминерализованных атмосферных осадков. В зоне недостаточного увлажнения главную роль в водном и солевом балансе играет испарение, а не атмосферные осадки, соответственно размер акватории способствует накоплению солей ввиду преобладания процесса испарительного концентрирования [Черняева, 1983]. Чтобы подтвердить наличие этой зависимости, для 93 озер в засушливых восточной и южной частях Курганской области была рассчитана степень тесноты связи между площадью озера и минерализацией. Полученное значение коэффициента корреляции $r=0,634$ с вероятностью 99%, свидетельствует о наличии достаточно тесной связи между площадью озера и минерализацией.

Связь генетических типов озер и формы озерной котловины (значений морфометрических коэффициентов)

Определение генетического типа озера - довольно сложная задача, требующая комплексного решения. В этом плане интересным представляется выявление возможной связи между генетическим типом озера и значениями морфометрических коэффициентов, описывающих форму озерной котловины. Для того чтобы выявить, существует ли такая связь, для 182 озер Курганской области автором рассчитаны значения следующих морфометрических показателей: коэффициент компактности, коэффициент формы, степень сопоставления с кругом и степень расчлененности контуров объектов. После этого в ходе анализа полученных данных были определены интервалы значений коэффициентов для разных генетических типов озер (табл.3).

Значения разных морфометрических показателей некоторых озер свойственны не одному, а нескольким генетическим типам (например, значения коэффициента компактности и степени расчленения озера Вишнякколь характерны для озер эолово-дефляционного типа, а коэффициента формы и степени сопоставимости с кругом - суффузионно-просадочного типа). Скорее всего, котловины таких озер формировались в результате взаимодействия нескольких процессов, а не одного решающего фактора.

Таблица 3

Интервалы значений морфометрических коэффициентов озерных котловин разных типов

Тип озерной котловины	Коэффициент компактности	Коэффициент формы	Степень сопоставимости с кругом	Степень расчлененности контура объекта
Суффузионно-просадочный	0,15-0,36	12,83-14,48	1,02-1,15	0,91-2,13
Эолово-дефляционный	0,36-0,79	23,55-88,07	1,80-7,01	0,45-0,91
Древнедолшший	0,79-1,37	14,48-23,55	1,15-1,80	0,23-0,45

Связь минерализации озера и ориентировки озерной котловины

Для исследования связи этого рода рассмотрены показатели 99 озер восточной части Курганской области. Свыше 60 % озер являются озерами субмеридионального направления (рис. 8а). Такие озера приурочены преимущественно к древним долинам рек, а озера субширотного направления — к межгрядным понижениям. Связь между ориентировкой озерной котловины и ее типом объясняется субмеридиональным направлением ложбин древнего стока, в переуглубленных участках которых и образовались озера древнедолинного типа [Андреева, 1973]. Помимо этого, 52 озера субмеридионального направления или 86,7% от всего количества обследованных озер этого направления относятся к солоноватым, соленым и рассольным (общая минерализация более 1 г/л) (рис. 8б), в то время как большинство озер субширотного направления - пресные.

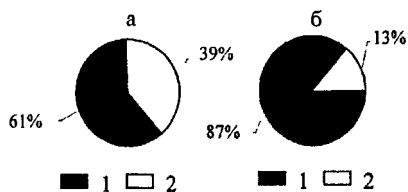


Рис.8 а) Распределение 99 озер восточной части Курганской области по ориентировке (азимуту) продольной оси озерной котловины
 1 - озера субширотного направления;
 2 - озера субмеридионального направления,
 б) распределение 52 озер субмеридионального направления по солености водной массы:
 1 - соленые; 2 - пресные

Связь минерализации озера и его гипсометрического положения

Дополнительно, без привлечения космических снимков, было проведено исследование по выявлению связи между гипсометрическим положением озера и его минерализацией. В целом, гипсометрическое положение озер хоть и опосредованно, но влияет на перераспределение солей, накапливающихся в озерных котловинах. Изменение минерализации в озерах Курганской области в зависимости от абсолютной отметки уреза воды прослеживается довольно четко. Водоём, расположенный выше, при равенстве остальных параметров имеет худшие условия для соленакпления, нежели водоём, расположенный в котловине.

Изучение колебаний уровня озер по космическим снимкам с использованием морфометрического анализа

Для Курганской области характерны резкие колебания в состоянии водных ресурсов. В годы с повышенным и избыточным атмосферным увлажнением озера области находятся в удовлетворительном состоянии, а в годы с пониженным количеством осадков уровень озер снижается. По данным об уровнях озер, представленным в официальных источниках [Гидрологический ежегодник, 1966-1980; Государственный водный кадастр..., 1982-1992], автором были составлены графики изменения уровня озер Курганской области и выявлены существенные различия в колебаниях уровня. На озерах лесной зоны цикличность не проявляется или имеет слабовыраженный характер, связанный с различием в ежегодном количестве осадков, в то время как для озер степной и лесостепной зон в целом характерны резкие колебания уровня. Это связано с тем, что при малом количестве атмосферных осадков большую роль в водном балансе озера начинают играть грунтовые воды. В маловодные годы запасы верховодки уменьшаются, что приводит к еще большему обмелению озер. Сопоставление данных по осадкам за период с 1960 по 1995 гг. с данными о колебаниях уровней озер показывает наличие некоторой связи между ними. Результаты сравнения данных позволяют сделать вывод о том, что величина выпавших за год осадков отражается на уровне озера через 1-2 года.

Колебания уровня озера можно проследить, сравнивая контур и площадь озера за разные периоды. Анализ изменения береговой линии ряда озер по разновременным космическим снимкам и определение их площади подтверждают результаты гидрологических наблюдений. Это позволяет использовать данные обработки космических снимков в целях выявления изменений уровня озер. Становится возможным изучение колебаний озерных

уровней, а на основе этих данных прогнозирование запасов водных ресурсов в разные годы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе теоретических исследований и экспериментальных работ была решена главная задача диссертации - разработана методика многоаспектного морфометрического анализа географических объектов по снимкам и картам, реализованная в компьютерной программе, обеспечивающей широкий спектр тематических морфометрических исследований с картографическим представлением результатов, что имеет существенное значение для картографо-аэрокосмического метода в географии.

Результаты диссертационного исследования состоят в следующем:

1. Проведено сравнение программ, позволяющих выполнять морфометрический анализ объектов. Выявлены их достоинства и ограничения, обоснована необходимость создания программы, удобной для использования специалистами-географами.
2. Обоснована система морфометрических показателей и разработана компьютерная программа «Морфометрический анализ», позволяющая проводить многоаспектный тематический анализ географических объектов с картографическим представлением результатов.
3. В результате применения разработанной методики и программы «Морфометрический анализ» при исследовании озер по космическим снимкам на примере семиаридных регионов Западной Сибири установлена связь морфометрических показателей озер с их генетическими, гидрологическими и гидрохимическими характеристиками (выявлено влияние величины удельного водосбора и площади озера на его минерализацию; определены диапазоны значений морфометрических показателей, характерные для разных генетических типов озер и др.).
4. Обобщение опыта применения морфометрического анализа в тематической картографии позволило обосновать необходимость унификации и совершенствования морфометрических показателей. Предложен новый раздел тематической морфометрии — *инженерно-географическая морфометрия*, к задачам которой относятся измерения и количественные исследования территории по снимкам и картам при изысканиях, проектировании, строительстве и эксплуатации инженерных сооружений.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Основные научные результаты опубликованы в рекомендованных ВАК Минобразования России журналах:

1. Тематическая морфометрия - основные направления и используемые показатели // Веста. Моск. ун-та. Сер. 5, Геогр. 2003. № 1, с. 42-47.
2. «Морфометрический анализ» - программа для исследований географических объектов // Геоинформатика, 2004, № 3, с. 21-30.

Кроме того, автором по теме диссертации опубликовано 6 работ:

3. Выявление связей между характеристиками озер и значениями их морфометрических показателей (на примере Курганской области) // Труды факультета естественных наук КГУ. Экопанорама.- Вып.2, 2004.- Курган: КГУ, 2004, с. 120-127.
4. Применение космических снимков в изучении колебаний уровней озер (на примере Курганской области) // Труды факультета естественных наук КГУ. Экопанорама.- Вып.2,2004.- Курган: КГУ, 2004, с. 128-133.
5. Применение космических снимков в изучении лесов - Межд. конф. «Ломоносов-2002», секция «География», Москва, апрель 2002. М.: Изд. МГУ, 2002, с.89.
6. Морфометрический анализ в исследовании лесов по космическим снимкам // Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении и лесном хозяйстве: Доклады III Всероссийской конференции, посвященной памяти Георгия Георгиевича Самойловича (Москва, 18-19 апреля 2002 г.). - М., ЦЭПЛ РАН, 2002, с. 298-299.
7. Применение морфометрических показателей в изучении озер (на примере Курганской области) - Межд. конф. «Ломоносов-2004», секция «География», Москва, апрель 2004. М.: Изд. МГУ, 2004, с. 106.
8. Отображение некоторых гидрологических характеристик озер в их морфометрических показателях (на примере Курганской области) // VI Всероссийский гидрологический съезд (Санкт-Петербург, 28 сентября - 1 октября 2004 г.). Тезисы докладов. Секция 3. - Санкт-Петербург, Гидрометеиздат, 2004, с. 12-1А.

Отпечатано в копицентре
Москва, Ленинские горы, МГУ, 1 Гуманитарный корпус.
www.stprint.ru e-mail: zakaz@stprint.ru тел. 939-3338
Заказ № 76 тираж 100 экз. Подписано в печать 19.10.2004 г.

ОБЪЕМ 1.0 п.л.

№21565

РНБ Русский фонд

2005-4

19148