

На правах рукописи

Нзеха Мухсен Азиз

**Разработка концепции и технологии аэрокосмического мониторинга
архитектурно-археологических объектов**

Специальность 25.00.34 — Аэрокосмические исследования Земли,
фотограмметрия

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва — 2009

Работа выполнена на кафедре прикладной экологии в Московском государственном университете геодезии и картографии (МИИГАиК)

Научный руководитель: доктор технических наук,
профессор Малинников Василий Александрович

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук,
профессор Зверев Анатолий Тихонович
кандидат технических наук
Кочнова Ирина Владимировна

Ведущая организация: ФГУП “ГОСГИС центр”
Государственный научно-внедренческий центр
геоинформационных систем и технологии

Защита диссертации состоится « » «_____» 2009 г. в _____ часов
на заседании диссертационного совета Д. 212.143.01 в Московском
государственном университете геодезии и картографии (МИИГАиК) по адресу:
105064, Москва, Гороховский переулок, 4. (Зал заседаний Ученого Совета)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского
государственного университета геодезии и картографии.

Автореферат разослан «___» «_____» 2009 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Б.В. Краснопевцев

Общая характеристика работы

Актуальность темы. Сегодня бесконтактными методами собирается большое количество разнообразной информации об археологических объектах и, можно с уверенностью утверждать, что этот объем со временем будет только увеличиваться.

Если говорить о задачах археологии в целом, то в значительно обобщенной форме, их совокупность в археологических исследованиях можно отнести к одному из двух типов: реконструкция целого по неполным данным, или представление и выделение существенных черт целого из большого объема сведений.

В задачах первого типа происходит домысливание, индуктивное расширение информации на основе недостаточного количества фактических данных. Второй тип задач характеризуется свертыванием, сжатием информации. Из большого объема фактических данных либо выделяется их существенная часть, либо формируются обобщенные интегрированные показатели.

Чаще всего случаев задачи как первого так и второго типа направлены на достижение одной из важнейших целей археологических исследований — выявление и установление структурных соотношений между исходными археологическими объектами. Поэтому на сегодняшний день, на мой взгляд, наиболее актуальным и первоочередным представляется разработка подходов к исследованию стохастических, нелинейных свойств структуры археологических объектов, а именно, структуры архитектурно-археологических объектов (начиная с древнейших поселений и кончая отдельными сооружениями) и выработка на их основе концепции и технологии аэрокосмического мониторинга архитектурно-археологических объектов.

Цель и задачи исследования. Целью диссертационной работы является разработка концепции системы аэрокосмического мониторинга архитектурно-археологических объектов, а также совершенствование теоретических и

практических подходов к пространственно-структурному анализу аэрокосмических изображений археологических объектов, в форме технологий.

Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

1. Выполнить историографический обзор современного состояния дистанционных методов обследования архитектурно-археологических объектов;
2. Провести сравнительный анализ аэрокосмических данных дистанционного зондирования Земли, используемых при археологических исследованиях;
3. Предложена концепция системы аэрокосмического мониторинга архитектурно-археологических объектов;
4. Сделать сравнительный анализ современных методов исследования структурной организации древних городских поселений по их цифровым изображениям;
5. Обосновать возможность использования мультифрактальных методов при исследовании пространственной структуры древних поселений;
6. Создать Методику структурно-пространственного анализа цифровых изображений археологических объектов;
7. Провести экспериментальную апробацию разработанной Методики структурно-пространственного анализа на примере цифровых изображений древнейших сирийских городов.

Объект и предмет исследования. Объектом диссертационного исследования является аэрокосмический мониторинг природных и антропогенных объектов, предметом диссертационных исследования - архитектурно-археологические объекты.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Предложена концепция архитектуры системы аэрокосмического мониторинга архитектурно-археологических объектов, в форме функционально-технологической схемы, включающей в себя ядро ГИС, обеспечивающее управление данными, а также совокупность

подсистем, выделяемых по функциональному признаку: подсистема сбора и хранения информации, подсистема обработки данных, подсистема моделирования и подсистема представления информации.

2. Разработан математический аппарат и теоретические основы методики структурно-пространственного анализа цифровых изображений археологических объектов.
3. Впервые показано, что мультифрактальные параметры могут быть использованы для количественного описания пространственной структуры архитектурно-археологических объектов.
4. Впервые построена геоинформационная фрактальная модель пространственной структуры древних поселений, позволяющая описывать строение древних городов на трех иерархических уровнях: макроуровне (описание пространственной организации кварталов древнего города), мезоуровне (описание формы границы городских кварталов) и микроуровне (описание планировочной структуры кварталов).
5. Предложена и обоснована Методика получения фрактальных параметров пространственной структуры древних поселений на каждом уровне геоинформационного моделирования.

Практическое значение. Практическая ценность результатов диссертационной работы заключается в том, что разработанная в ней концепция системы аэрокосмического мониторинга может быть использована при реализации мониторинга архитектурно-археологических объектов разных исторических периодов. Предложенная в диссертации Методика структурно-пространственного анализа изображений архитектурно-археологических объектов позволяет существенно снизить затраты на организацию и планирование археологических исследований.

Кроме того, развиваемый в диссертации мультифрактальный подход дает возможность количественного описания структуры древнего поселения на

разных иерархических уровнях, что можно рассматривать как принципиально новую основу для решения актуальных задач археологии.

Базовые материалы исследования. В основу базовых материалов исследований по теме диссертации положены результаты научных работ по основным и прикладным аспектам рассматриваемой проблемы, нашедших отражение в научных трудах математиков Б.Б. Мандельброта, Я. Леви-Вехеля, и др., архитекторов В. Лоренца, К. Бовиля и др., археологов Ю.П. Холюшкина, К.Л. Квамме, М. Йон, С.Парцак и др., специалистов дистанционного зондирования и ГИС П. Лонгли, В.Я. Цветкова, А.А. Златопольского В.А. Малинникова и др. В работе также использовались материалы научных конференций по современным проблемам дистанционного зондирования Земли из космоса и применения аэрокосмических методов в археологических исследованиях.

Методы исследования.

Для решения поставленных задач использованы методы теории вероятности и математической статистики, вычислительной математики, цифровой обработки изображений, теории фракталов.

Достоверность результатов подтверждается:

1. Корректным применением математических методов и вычислительных средств теории вероятностей и математической статистики, вычислительной математики, цифровой обработки изображений, теории фракталов.
2. Научно-методическим обоснованием выбора характеристик фрактальных и мультифрактальных свойств пространственной структуры древних поселений.
3. Апробацией методики, а также удовлетворительным совпадением результатов с расчетами в аналитических и численных моделях, полученными другими авторами.

На защиту выносятся следующие разработки и результаты:

1. Концепция архитектуры системы аэрокосмического мониторинга

архитектурно-археологических объектов.

2. Методика структурно-пространственного анализа цифровых изображений археологических объектов.
3. Результаты экспериментальной апробации Методики структурно-пространственного анализа изображений архитектурно-археологических объектов для исследования структурной организации древнейших сирийских городов.

Апробация работы. Основные результаты работы по теме диссертации докладывались и обсуждались на научных заседаниях кафедры Прикладной экологии МИИГАиК, на 68-ой (апрель, 2008) и 69-ой (апрель, 2009) научно-практических конференциях студентов, аспирантов и молодых ученых МИИГАиК, на Международной конференции, посвященной 230-летию МИИГАиК (Москва, май, 2009), проводившихся в Московском государственном университете геодезии и картографии.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 4 научных работы.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Материал работы изложен на 161 странице машинописного текста, содержит 11 таблиц, 36 рисунков, 0 приложений. Список литературы состоит из 134 наименований, из них 85 на иностранных языках, 5 интернет - источников.

Содержание работы

Во **Введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы ее цель и задачи, практическая значимость.

В первой главе -«Обзор современного состояния дистанционных методов обнаружения и исследования архитектурно-археологических объектов» продемонстрированы большие возможности и перспективы применения дистанционных методов зондирования Земли для исследования археологических объектов.

На основе анализа работ российских и зарубежных ученых в области дистанционного зондирования Земли представлен обзор основных наземных и аэрокосмических методов дистанционного зондирования архитектурно-археологических объектов.

Как известно одним из наиболее распространенных методов наземного дистанционного зондирования является геофизическая разведка. Геофизические методы исследований являются неразрушающими, что позволяет привлекать геофизику для создания кадастров археологических памятников и карт охранных историко-археологических зон. Под напором технического прогресса из геофизики выделилась отдельное направление – археогеофизика: геофизика в археологии и для археологии. В археогеофизике, главным образом, используются четыре метода: магниторазведка, электроразведка методом сопротивлений, электромагнитная разведка, георадарная разведка. В настоящей главе указаны преимущества и недостатки каждого метода.

При исследовании архитектурно-археологических объектов с воздуха может быть использован широкий набор средств аэросъемки. Наиболее часто в воздушной археологии используют вертикальную аэрофотосъемку, но в некоторых случаях может применяться и ракурсная аэрофотосъемка. Степень детальности снимков зависит, прежде всего, от высоты положения камеры и от спектральной чувствительности используемой пленки. Она может фиксировать либо видимый, либо невидимый свет и передавать его в черно-белом или цветном варианте. Все архитектурно-археологические объекты, как правило, — результат человеческой деятельности, поэтому изображения их, получаемые на аэрофотоснимках, имеют правильные геометрические формы и хорошо отличаются от природных объектов.

Появившиеся со временем инфракрасная, мультиспектральная, тепловая и радиолокационная съемки открыли перед археологами еще большие возможности для обследования территорий археологических объектов. Это

привело к резкому увеличению количества работ, в которых стали использоваться материалы космической съемки.

Космические данные ДЗЗ могут быть использованы в археологических ГИС двумя способами. В первом случае участие ограничивается топографической поддержкой проекта в условиях отсутствия или неполноты картографического материала. Во втором случае используется содержащаяся в многоспектральных (многозональных) космических снимках информация о пространственном распределении спектральных свойств земной поверхности.

При обнаружении и обследовании архитектурно-археологических объектов используются оба подхода. С одной стороны, исследуется и реконструируется древний ландшафт, содержащий изучаемые или наблюдаемые архитектурно-археологические объекты (для этого могут быть использованы, например, мультиспектральные изображения Landsat, Corona), а с другой стороны, строится модель пространственного размещения и структуры различных типов архитектурно-археологических объектов (для этого могут быть использованы панхроматические изображения Quickbird, IKONOS). Основной целью является понимание архитектурных особенностей древних сооружений, выявление их отличительных черт и связей между ними и теми событиями, которые происходили на данной территории в прошлом.

Результаты этой работы, как правило, совмещаются с данными наземных дистанционных методов измерений в среде ГИС. При этом для исследуемой территории может быть построена цифровая модель рельефа, а сами снимки желательно дополнять изображениями, полученными из Google Earth™ или World Wind. Здесь так же приводится сравнительный анализ аэрокосмических данных, наиболее часто используемых при исследовании архитектурно-археологических объектов.

В конце первой главы указаны проблемы математических методов обработки археологической информации и пути их преодоления. В частности, здесь отмечается, что сложность, случайность и гетерогенность исследуемых объектов, и, как следствие, данных дистанционного зондирования являются

одной из причин того, что большая часть математических методов, нашедших применение в археологии, основанных на евклидовой или линейной метриках, оказывается малоэффективными или вовсе неэффективными при решении целого ряда археологических задач. Выход из данной ситуации видится во всесторонних исследованиях методов и технологий, основанных на различных методологических основаниях и использующих разные пространственно-временные метрики, включая информационные и энтропийные на предмет их применимости в целях решения археологических задач, в рамках существующих и разрабатываемых систем мониторинга археологических объектов.

Во второй главе - «Концепция и принципы организации системы аэрокосмического мониторинга архитектурно-археологических объектов» изложены основные цели и задачи аэрокосмического мониторинга архитектурно-археологических объектов. Предложены Концепция и принципы организации системы аэрокосмического мониторинга архитектурно-археологических объектов.

Целью аэрокосмического мониторинга архитектурно-археологических объектов являются наблюдение, оценка и прогноз изменения состояния архитектурно-археологических объектов под влиянием естественных, либо антропогенных факторов, а также выработка научно-обоснованных рекомендаций по принятию управленческих решений в интересах охраны археологических объектов.

К основным задачам мониторинга архитектурно-археологических объектов, как показало исследование, относятся:

- оценка и прогнозирование изменений состояния архитектурно-археологических объектов под влиянием техногенных и природных факторов, откликов экосистем на антропогенное воздействие;
- выработка рекомендаций по предупреждению и устранению влияния негативных процессов на состояние археологических памятников;

- информационное обеспечение кадастра архитектурно-археологических объектов;
- обеспечение органов государственного управления, научных, проектных и общественных организаций, а также заинтересованного населения необходимой достоверной информацией о состоянии археологических памятников.

Отмечено, что эффективное решение перечисленных выше задач возможно только в рамках автоматизированной системы аэрокосмического мониторинга за состоянием архитектурно-археологических объектов, входными данными которой являются материалы космической, воздушной и наземной съемок архитектурно-археологических объектов, а выходными — набор значений их структурно-пространственных характеристик, тематические и специальные карты, схемы, графики, таблицы, демонстрирующие их географическое положение, структурные свойства, текущее состояние и изменение его во времени.

В качестве определяющих концепции организации мониторинга архитектурно-археологических объектов были приняты следующие положения:

- оперативный контроль за состоянием архитектурно-археологических объектов возможен только при использовании данных аэрокосмической съемки;
- для совершенствования Методик анализа пространственно-структурных характеристик архитектурно-археологических объектов необходимо привлечение аппарата современной теории нелинейных систем, и, в частности, теории фракталов;
- эффективная организация мониторинга за состоянием архитектурно-археологических объектов возможна лишь при централизованном объединении информации, комплексно характеризующей состояние и использование архитектурно-археологических объектов;
- структурирование информации об археологических памятниках и их отдельных элементах, также представляющих археологическую

ценность, требует использования объектного подхода к организации данных;

Реализация каждого из положений концепции оказалась возможной в рамках системы мониторинга архитектурно-археологических объектов, функционально-технологическая схема которой приведена на рис. 1.

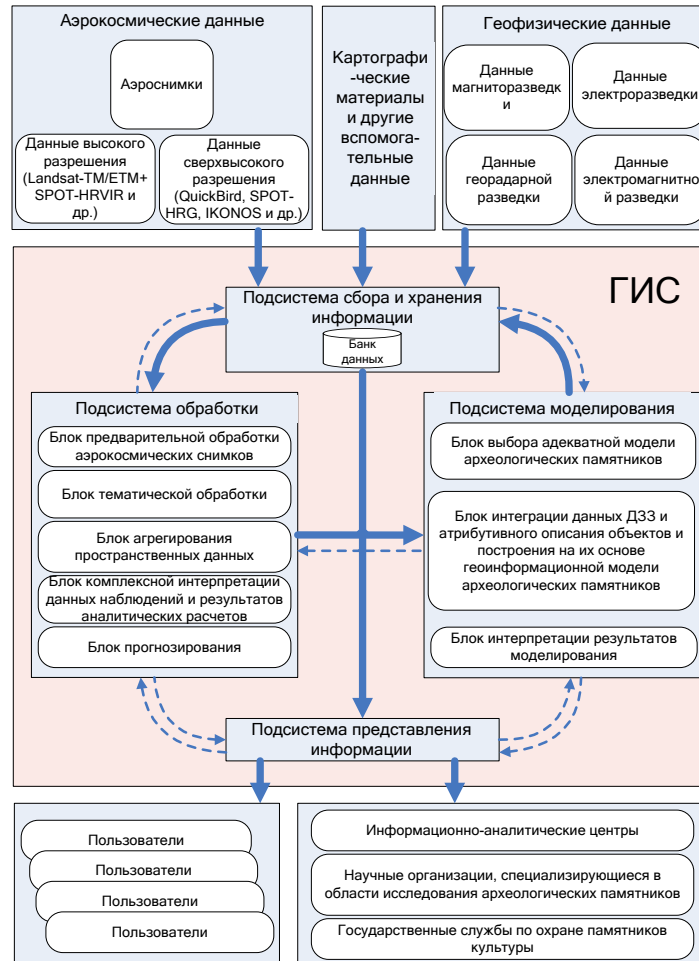


Рис. 1. Функционально-технологическая схема системы аэрокосмического мониторинга архитектурно-археологических объектов

Как видно из рис. 1 рассматриваемая на концептуальном уровне система мониторинга включает в себя ядро геоинформационной системы, обеспечивающее управление данными, а также совокупность подсистем (модулей), выделяемых по функциональному признаку: подсистема сбора и хранения информации; подсистема обработки данных; подсистема моделирования и подсистема представления информации.

Основной объем данных, используемый в системе, получается в результате дистанционных измерений с помощью геофизических,

фотографических, оптико-механических и оптико-электронных сканерных устройств. В свою очередь потребителями информации являются различные информационно-аналитические центры и научные организации, специализирующиеся в области исследования археологических памятников, а также государственные службы по охране культурного наследия.

Поскольку основой предлагаемой системы мониторинга является ГИС, хранящиеся в банках данные необходимо рассматривать с учетом трех аспектов: пространственного, временного и тематического. Пространственный аспект связан с определением местоположения архитектурно-археологических объектов. Временной аспект обусловлен изменением состояния археологических памятников или группы археологических памятников с течением времени, в частности от одного временного среза до другого. Тематический аспект обусловлен включением в информационную систему мониторинга тематической информации о планировке городской территории, структуре и планировке отдельных археологических сооружений, культуре народов, населявших исследуемую территорию в разные периоды времени и др.

В рассматриваемой на концептуальном уровне системе мониторинга архитектурно-археологических объектов использована комбинированная модель организации пространственных данных, сочетающая в себе объектно-ориентированный и послойный подходы.

При послойной организации данных удобно манипулировать большими группами объектов, представленных слоями как единым целым, определять операции, основанные на взаимодействии слоев. Основными мотивами выбора объектного подхода к построению ГИС мониторинга архитектурно-археологических объектов можно назвать естественность представления в виде объектов структуры поселений, логичность и наглядность в манипуляциях с данными, а также необходимость применения объектной базы данных для хранения неоднородной информации, используемой в ГИС.

Выделение отдельного блока моделирования в предлагаемой системе мониторинга обусловлено в первую очередь тем, что моделирование

предполагает более углубленный анализ, нежели просто расчет количественных характеристик археологических памятников. Моделирование в рассматриваемой на концептуальном уровне системе мониторинга задействовано, главным образом, для построения структурно-пространственных геоинформационных моделей архитектурно-археологических объектов и на их основе создание более сложных моделей и прогнозов изменения состояния памятников с течением времени.

Основу геоинформационного моделирования могут составлять преобразования, основанные на: теоретико-множественных отношениях, законах формальной логики, алгоритмах обработки изображений и т.д. В настоящей главе основное внимание акцентируется на фрактальных методах моделирования, которые, как будет показано ниже, в наибольшей степени подходят для исследования структурно-пространственных характеристик архитектурно-археологических объектов.

В целом можно сделать вывод, что задача организации аэрокосмического мониторинга архитектурно-археологических объектов для изучения состояния археологических памятников различными научно-исследовательскими организациями и обеспечения контроля за их охраной государственными службами по охране памятников культуры требует решения целого спектра научных задач, среди которых можно выделить следующие:

1. Разработка эффективной концепции структурирования информации о различного рода археологических памятниках.
2. Разработка новых методов получения и тематической обработки мониторинговой информации для оценки состояния археологических памятников и осуществления контроля за их изменением.
3. Разработка Методики моделирования археологических памятников на разных масштабных уровнях.

Решение каждой из перечисленных выше задач не представляется возможным без построения эффективной системы мониторинга архитектурно-археологических объектов.

Третья глава - «Методика структурно-пространственного анализа цифровых изображений археологических объектов». В ней рамках разрабатываемой Методики структурно-пространственного анализа изображений архитектурно-археологических объектов рассмотрен фрактальный подход к описанию пространственной организации древних городов с использованием аэрокосмических снимков высокого разрешения. Целесообразность использования фрактального подхода обусловлена тем, что он предоставляет исследователю инструменты количественного описания структуры сложных объектов на земной поверхности, каковыми являются древние города нашей планеты, не поддающейся в большинстве своем описанию в терминах привычной Евклидовой геометрии.

В диссертационной работе делается вывод о том, что ярко выраженный регулярный план имело большинство древних городов на ранней стадии своего развития. Однако со временем структура городов становилась менее регулярной, во многих случаях приобретая мультифрактальные черты. Мультифрактальность в пространственной структуре можно заметить у многих городских поселений, совмещающих в себе сразу несколько типов планировки, как, например, Рим или Париж. Одним из объяснений этого является то, что большинство городских поселений в процессе своего существования неоднократно перестраивалось и на поздних стадиях своего развития они собой города, состоящие из зон с различным типом планировки, в проектировании которых принимали участие разные архитекторы. В случаях, когда застройка новых территорий и перестройка уже застроенных кварталов оказывалась хорошо спланированной и охватывала достаточно большую территорию, в плане города могли образовываться четко различимые обширные фрактальные зоны, вместе формирующие основу мультифрактальной структуры городского поселения.

Мультифрактальность обнаруживается и в пространственной организации городских кварталов. Она проявляется в том, что план сооружений, либо группы сооружений внутри квартала допускает деление на фрактальные

зоны, состоящие из частей, которые повторяют по структуре планировку всего квартала.

Анализ особенностей пространственной организации городских поселений позволяют сделать вывод, что описание их пространственной структуры должно базироваться на следующих двух основополагающих принципах:

- иерархичности — выделении нескольких (двух-трех) иерархических уровней пространственной организации древних городских поселений, различающихся степенью детальности;
- фрактальности — описании пространственной структуры поселения на каждом из иерархических уровней (от структуры отдельных сооружений либо группы сооружений до структуры всего города в целом) с помощью фрактальных (мультифрактальных) характеристик.

На основании анализа литературных источников и проведенных в работе исследований структурных особенностей архитектурно-археологических объектов, предлагается Методика автоматизированного структурно-пространственного анализа цифровых изображений археологических объектов, содержащая пять этапов (рис. 2). Названная Методика ориентирована на решение научно-исследовательских задач, связанных с изучением пространственной структуры архитектурно-археологических объектов; определением и исследованием изменчивости их структурных параметров, обусловленных различным видом воздействий на них.

На заключительном этапе рассматриваемой Методики сведения о значениях структурных характеристик археологических памятников и сейсмической обстановки на территории археологических исследований используются для построения моделей пространственной структуры археологических памятников.

При этом предлагается принципиально новая трехуровневая фрактальная модель древних городских поселений, состоящая в описании по аэрокосмическим снимкам структуры древних городов, формы отдельных

функциональных зон (кварталов) города, а также внутренней структуры этих кварталов. Ниже на рис. 3 приведены основные этапы излагаемой Методики геоинформационного моделирования структуры древних поселений.



Рис. 2. Автоматизированная Методика структурно-пространственного анализа изображений архитектурно-археологических объектов (ИААО)

На макроуровне решается задача описания плановой структуры древнего города, с целью исследования особенностей в размещении его основных функциональных зон. При исследовании степени застроенности городской территории наибольший интерес представляют величины $f_{-\infty}$ и f_{∞} .

Величина $f_{-\infty}$ представляет собой фрактальную размерность подмножества, характеризуемого максимальным значением индекса сингулярности α_{\max} . Таким образом, $f_{-\infty}$ характеризует скорость роста числа наиболее застроенных участков территории города с уменьшением их линейных размеров ($N_{\min} \sim \varepsilon^{-f_{-\infty}}$). Аналогично, величина f_{∞} характеризует скорость роста числа наименее застроенных участков городской территории с уменьшением их линейных размеров и определяется из соотношения $N_{\max} \sim \varepsilon^{-f_{\infty}}$.

Другим мультифрактальным параметром, характеризующим пространственную структуру городской территории, является величина $\Delta_q = D_1 - D_q$. Показатель Δ_q отражает степень упорядоченности и нарушения

симметрии изучаемой пространственной структуры поселения. Большие значения величины Δ_q соответствуют большей степени нарушения симметрии.

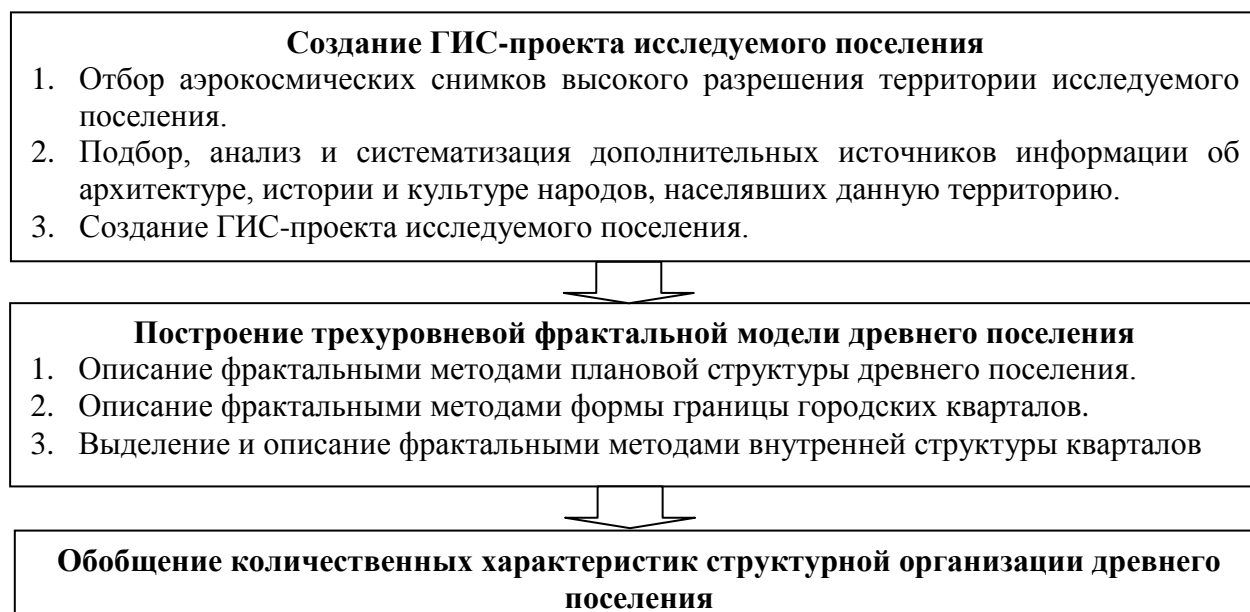


Рис. 3. Схема методики геоинформационного моделирования структуры древних поселений фрактальными методами

На стадии описания структуры границ городских кварталов выполняется фрактальный анализ бинарных изображений границ городских кварталов с целью определения степени их изрезанности, а также вычисления периметра и площади ограниченных ими функциональных зон.

На нижнем уровне геоинформационного моделирования решаются задачи выделения и описания посредством мультифрактального анализа внутренней структуры кварталов, составления приближенного плана этих кварталов и постановки в соответствие каждому из них мультифрактального спектра, позволяющего количественно описывать структуру различных кварталов. Сложность структуры городских кварталов удается количественно отразить с помощью информационного параметра упорядоченности Δ_∞ и напрямую связанного с ним показателя разброса фрактальных свойств $\Delta_\alpha = \alpha_{\min} - \alpha_{\max}$.

Выделение плановой структуры археологических сооружений внутри кварталов осуществляется посредством мультифрактальной сегментации их полутоновых изображений.

В заключение в данной главе отмечается, что предложенная Методика структурно-пространственного анализа ИААО и, в частности, методика геоинформационного моделирования структуры древних поселений как одна из ее составных частей обладает целым рядом достоинств по отношению к традиционным способам описания древних городов. В частности, разработанная методика позволяет существенно снизить затраты на организацию и планирование археологических исследований. Более того, получившая с ее помощью решение задача количественного описания пространственной структуры древнего поселения на разных иерархических уровнях не находит решения при традиционных способах исследований, либо решается на качественном уровне, не позволяя тем самым провести различий между результатами исследований разных групп археологов. Преимуществом предложенной методики является и то, что использование материалов аэрокосмической съемки в качестве источника информации дает возможность проследить динамику изменений пространственной структуры древнего поселения, обусловленных разрушением отдельных его сооружений под воздействием естественных факторов, либо человеческого вмешательства.

В целом можно заключить, что изложенный в данной главе подход поможет получить более полную информацию о структуре древних поселений и даст возможность глубже понять культуру и традиции населявших их народов.

В четвертой главе - «Экспериментальная апробация Методики структурно-пространственного анализа цифровых изображений архитектурно-археологических объектов» продемонстрировано применение Методики структурно-пространственного анализа цифровых изображений архитектурно-археологических объектов, изложенной в третьей главе диссертационной работы, для исследования структурной организации древнейших сирийских городов Угарит и Эбла (рис. 4).

В результате анализа влияния сейсмогеодинамических процессов на архитектурно-археологические объекты городов Угарит и Эбла сделан вывод,

что на сегодняшний день сейсмические процессы, происходящие в регионе, где располагаются эти города, не угрожают состоянию их архитектурно-археологических объектов. Этот вывод подтверждается и результатами линеаментного анализа, проведенного автором диссертационной работы по космическим снимкам Landsat-7.

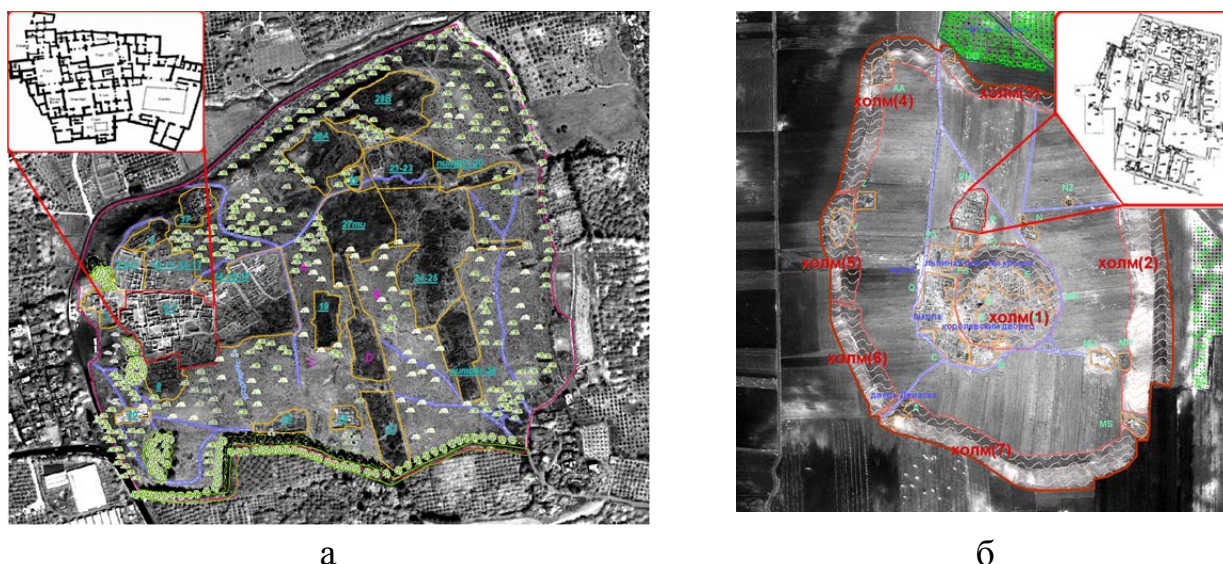


Рис. 4. Космофотосхемы городов а) Угарит и б) Эбла

Исходными данными при геоинформационном моделировании городов Угарит и Эбла служили спутниковые снимки территории этих городов с пространственным разрешением 0,61 м, полученные космическим аппаратом QuikBird. В качестве вспомогательных источников информации привлекались материалы опубликованных исследований европейских археологических экспедиций. Для создания ГИС-проекта была выбрана ГИС MapInfo 9.2. На подготовительном этапе геоинформационного моделирования в ходе исследований, проведенных лично автором диссертационной работы, были составлены следующие тематические слои: слой в границах всего города, слой с границами его основных функциональных зон (обозначены светлыми контурами на рис. 4) и другие слои, отражающие положение наиболее крупных объектов, располагающихся на исследуемых территориях (дренажных каналов, колодцев, участков с высокой растительностью и т.д.).

На верхнем уровне геоинформационного моделирования, преобразованные в растровый формат изображения границ функциональных

зон городов Угарит и Эбла, закрашивались значимым цветом и подвергались мультифрактальной обработке. Проанализировав полученные в результате мультифрактального анализа зависимости (рис. 5), был сделан вывод, что на территории г. Угарит процентное содержание относительно небольших по площади кварталов невелико (правая ветвь спектра $f(\alpha)$ ниже его левой ветви), при этом крупных кварталов с высокой плотностью застройки достаточно много ($f_{40} = 1,2$). Кроме того, взаимное положение графиков $f(\alpha)$, построенных для двух городов, указывает на более плотную застройку города Угарит относительно города Эбла (более высокие значения фрактальных размерностей), а группировка точек вблизи краев спектров, скорее всего, является следствием резкого разграничения территории городов на слабо и сильно застроенные. Большой разброс значений мультифрактальных спектров $D(q)$ и $f(\alpha)$ для города Эбла отражает высокую степень нарушения симметрии в планировочной структуре этого города. На основе литературных источников в работе делается вывод, что первоначально довольно симметричная структура города постепенно теряла свои правильные пропорции, главным образом, в процессе расширения Царского Дворца, происходящего посредством нерегулярного сооружения пристроек у его стен.

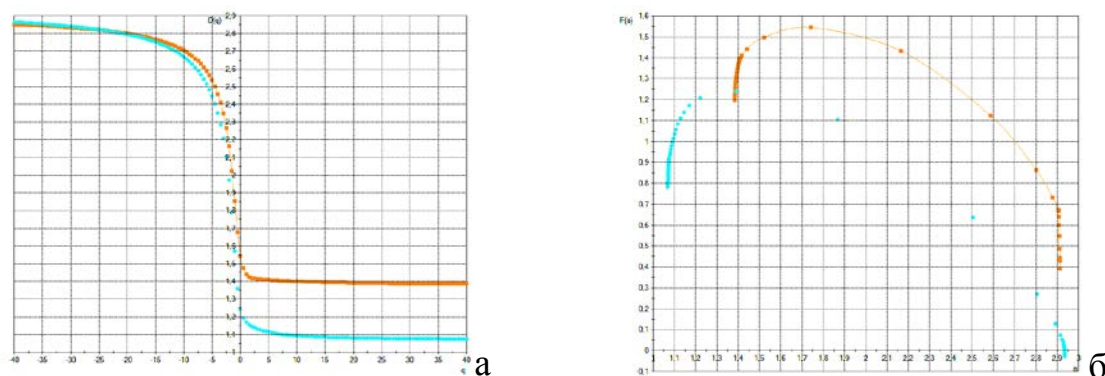


Рис. 5. Мультифрактальные спектры а) $D(q)$ и б) $f(\alpha)$, характеризующие планировочную структуру городов Угарит (—■—) и Эбла (—●—)

На стадии описания границ функциональных зон мультифрактальной обработки подвергались бинарные изображения границ кварталов г. Угарит и г. Эбла. Фрактальные размерности границ всех исследуемых кварталов близки к единице. Это означает, что границы функциональных зон изучаемых городов

имеют относительно правильную геометрическую форму и могут быть описаны в терминах Евклидовой геометрии.


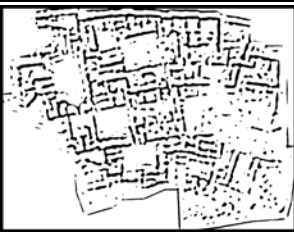



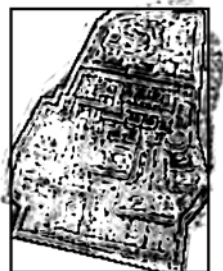
С целью описания структуры каждого из исследуемых городских кварталов был осуществлен мультифрактальный анализ их полутоновых изображений. Кроме того, в соответствии с разработанной Методикой геоинформационного моделирования для каждой из функциональных зон были построены контурные изображения (планы), расположенных на их территории археологических сооружений. Для выделения структурных элементов археологических сооружений исследуемых кварталов была выполнена мультифрактальная сегментация их полутоновых изображений.

В табл. 1 приведены планы исследуемых сооружений (6-7 и p+pn) городов Угарит и Эбла, совмещенные с их контурными изображениями. При сравнении планов с контурными изображениями было обнаружено, что гораздо лучшее соответствие наблюдается для контурных изображений, полученных с использованием емкости μ_{sum} . Однако, контурные изображения, полученные с использованием емкости μ_{max} , отличаются большей детальностью и могут использоваться в вспомогательных целях при составлении планов сооружений древнего поселения.

Таким образом, Методика геоинформационного моделирования структуры древних поселений на основе фрактальных методов может оказать существенную помощь при построении планов древних городов и отдельных их сооружений, реконструкции стен сооружений, разрушенных под действием естественных либо антропогенных факторов, определении функционального назначения кварталов по форме и структуре их в плане.

При этом систематический анализ состояния линеаментных полей по материалам аэрокосмической съемки дает возможность вести постоянный контроль за сейсмической обстановкой на территории древних городов, что является крайне важным для сохранения уникальных памятников древней архитектуры.

Таблица 1

	План	Контурное изображение μ_{sum}	Контурное изображение (μ_{sum}), совмещенное с планом
6-7			
p-pp			

Заключение

Диссертационная работа содержит исследования и разработки автора, которые можно рассматривать как решение актуальной научной задачи, посвященной разработке концепции и технологии аэрокосмического мониторинга архитектурно-археологических объектов.

Основными теоретическими и практическими результатами работы являются следующие:

1. Историографический обзор современного состояния дистанционных методов обследования архитектурно-археологических объектов;
2. Сравнительный анализ аэрокосмических данных дистанционного зондирования Земли, используемых при археологических исследованиях;
3. Концепция системы аэрокосмического мониторинга архитектурно-археологических объектов;
4. Методика структурно-пространственного анализа цифровых изображений археологических объектов;
5. Экспериментальная апробация разработанной методики структурно-пространственного анализа на примере цифровых изображений древнейших сирийских городов, позволившая выполнить анализ особенностей структурной организации древних городских поселений.

**Основное содержание диссертационного исследования автора отражено в
следующих публикациях**

1. Нзеха М. и др. Методика геоинформационного моделирования структуры древних поселений на основе фрактальных методов // Известия вузов. "Геодезия и аэрофотосъемка". — 2009. — № 3. — С. 76—79.
2. Нзеха М. Аэрокосмический мониторинг археологических объектов / Инновационные технологии в экологии. Сб. науч. трудов // Отв. ред. А.В. Садов. — М.: Изд-во МИИГАиК, 2008. — С. 58—65.
3. Нзеха М., Малинников В.А. Методика структурно-пространственного анализа космических изображений археологических объектов / Инновационные технологии в экологии. Сб. науч. трудов // Отв. ред. А.В. Садов. — М.: Изд-во МИИГАиК, 2008. — С. 47—57.
4. Нзеха М. и др. Применение методики геоинформационного моделирования структуры древних поселений фрактальными методами для исследования структурной организации древнейших сирийских городов // Сборник статей по итогам международной научно-технической конференции "Геодезия, картография и кадастр — XXI век", посвященной 230-летию основания МИИГАиК / Приложение к журналу Изв. вузов "Геодезия и аэрофотосъемка". — Выпуск 2. — М.: Изд-во МИИГАиК, 2009. — С. 50-55.