

На правах рукописи

ДЕРЕНДЯЕВ Александр Борисович

**Анализ свойств пространственно-временных геолого-геофизических
процессов геоинформационными методами**

Специальность 05.13.01 системный анализ, управление и обработка
информации

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Москва 2010

Работа выполнена в Учреждении Российской Академии Наук Институте проблем передачи информации им. А.А.Харкевича РАН (ИППИ РАН).

Научный руководитель:

доктор технических наук Гитис Валерий Григорьевич

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук, профессор Афанасьев Александр Петрович

доктор технических наук, профессор Нейман Владимир Ильич

Ведущая организация:

Институт Физики Земли (ИФЗ) РАН им. О.Ю.Шмидта

Защита состоится « _____ » _____ 2010 г. в 10 часов на заседании диссертационного совета Д 002.077.01 при Институте проблем передачи информации РАН по адресу: 101447, Москва, ГСП-4, пер. Большой Каретный, д. 19, стр. 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института проблем передачи информации РАН.

Автореферат разослан « _____ » _____ 2010 г.

Ученый секретарь Диссертационного совета Д 002.077.01

доктор физико-математических наук

И.И. Цитович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы.

В настоящее время быстро увеличивается количество систем мониторинга природных и социально-экономических процессов и развивается инфраструктура пространственных и пространственно-временных географических данных. В связи с этим появляется большое количество новых источников цифровой географической информации (ГИ), которая имеет и пространственную и временную компоненты. Одной из важнейших инициатив в этой области является рассчитанная на предстоящие десятилетия международная Программа «Глобальная система систем наблюдений Земли» (GEOSS), которая выполняется в целях понимания и решения глобальных проблем окружающей среды и экономики (<http://www.epa.gov/geoss/>). Эти данные накапливаются в распределенных хранилищах. Они могут представлять ранее измеренные свойства среды (например, сезонные вариации геофизических или геохимических полей) или потоки данных, измеряемые (либо прогнозируемые) в реальном времени (например, последовательности растров аэрокосмических наблюдений, атмосферные измерения, каталоги землетрясений, данные о позиционировании движущихся объектов, данные геомониторинга и т. д.).

В науках о Земле геоинформационные пространственно-временные данные встречаются практически во всех дисциплинах. Эти данные очень разнотипны. К ним относятся 2D, 3D, 4D сеточные поля, растры с географической привязкой, 2D, 3D, 4D точечные данные, линии, полигоны, географически локализованные временные последовательности и ряды. Объемы потоков геолого-геофизических данных, поступающих от систем мониторинга.

Освоение больших объемов распределенных пространственно-временных данных, выявление из них существенной информации и знаний абсолютно необходимо для развития фундаментальных исследований и решения прикладных задач в науках о Земле, в биологии, в общественных дисциплинах.

Во многих случаях обработка геоинформационных данных должна выполняться в реальном времени. Поэтому, наряду с необходимостью обработки весьма больших объемов данных, возникает дополнительное требование к обеспечению весьма высокой скорости вычислений. К этому следует добавить еще и тот очевидный факт, что рост научного интереса к анализу данных геомониторинга сопровождается увеличением числа пользователей, заинтересованных в доступе к информационным и аналитическим ресурсам. Из этого следует необходимость разработки новых методов анализа и создания сетевой технологии, которая реализует многопользовательский доступ к геоинформационным системам (ГИС), обеспечивает гибкое взаимодействие ГИС с распределенными хранилищами данных, использует алгоритмы параллельной загрузки потоков данных и параллельные вычисления и обладает удобным интерфейсом запуска вычислительно-емких расчетов на внешних высокопроизводительных платформах. Перечисленные проблемы решаются в представленной диссертационной работе.

Одна из первых настольных ГИС для анализа пространственно-временных данных была разработана в ИППИ в 1991 г. В настоящее время методы и системы геоинформационного анализа пространственно-временных данных

разрабатываются в ряде компаний и университетов, в том числе компании ESRI (США), MapInfo (США), Unidata Program Center (США), университет ИТС (Голландия), Кларковский университет (США) и др. В основном разрабатываемые методы относятся к задачам исследования движения объектов, оценивания изменений природной среды по растровым последовательностям, к анализу пространственно-временных точечных событий и временных рядов. При этом анализ, как правило, производится отдельно по времени и по пространству.

Таким образом, диссертация, по разработке методов и алгоритмов, специализированного математического и программного обеспечения для геоинформационного анализа разнотипных пространственно-временных геолого-геофизических данных актуальна, как для развития геоинформатики, так и при поиске эффективных решений в научных исследованиях и в практических приложениях в области сейсмологии и геодинамики.

Цель и задачи исследования. Целью диссертационной работы является разработка новых и совершенствование существующих геоинформационных методов анализа и средств обработки геолого-геофизической информации о пространственно-временных объектах, явлениях и процессах.

Для реализации этой цели в диссертации поставлены и решены следующие задачи:

- Разработать методы и алгоритмы геоинформационного анализа пространственно-временных сеймотектонических процессов, в том числе: метод обнаружения нестационарностей в 3D сеточных полях, временные ряды которых подчиняются авторегрессионной модели, метод оценивания параметров пространственно-временных аномалий.
- Разработать архитектуру, специализированное математическое и программное обеспечение распределенной сетевой ГИС для анализа пространственно-временных процессов.
- Экспериментально исследовать разработанные методы, алгоритмы и программное обеспечение на примерах решения практических задач анализа пространственно-временных геолого-геофизических полей: исследовать один из типов аномалий, присутствующих в каталогах землетрясений, исследовать взаимодействие сейсмичности с полями деформации Земной поверхности, вычисленным по данным космической геодезии, выделить и экспериментально проанализировать кластерные составляющие сейсмического потока, обнаружить и исследовать пространственно-временные предвестники землетрясений.

Методы исследования. При выполнении диссертационной работы использовались методы теории вероятности, статистического моделирования, распознавания образов и прогнозирования, методы компьютерного моделирования, паттерны программирования.

Научная новизна работы.

Научная новизна развиваемого в диссертации подхода к пространственно-временному геоинформационному анализу состоит в существенном расширении по сравнению с мировыми аналогами методов обработки разнотипных 2D, 3D и 4D данных, в разработке новых методов и алгоритмов визуализации и трансформации

данных, которые моделируют методы исследования геолого-геофизических процессов экспертами, а также в разработке специализированных предметно-ориентированных методов, алгоритмов и программных средств для решения задач сейсмологии и геодинамики.

В диссертации разработаны новые и усовершенствованы существующие методы геоинформационного анализа пространственно-временных сеймотектонических процессов по геолого-геофизическим данным: метод обнаружения нестационарностей в 3D сеточных полях, временные ряды которых подчиняются авторегрессионной модели первого порядка; метод и алгоритм выделения кластерной составляющей сейсмического потока, отличающийся от аналогов учетом фрактальных свойств сейсмического потока; метод оценивания параметров пространственно-временных аномалий, позволяющий обнаруживать предвестники землетрясений. Данные методы являются новыми и учитывают специфику предметной области.

Разработанные архитектура, специализированное математическое и программное обеспечение распределенной сетевой ГИС для анализа пространственно-временных процессов соответствуют современному мировому уровню. Созданные на этой базе ГИС превосходят по функциональности и эффективности выполнения операций мировые аналоги, предназначенные для анализа геолого-геофизических процессов.

На экспериментальном материале (данные Бишкекского полигона Научной станции РАН) впервые обнаружена статистически значимая связь между полями сейсмичности и инвариантами тензора поля скорости деформаций поверхности Земли по данным космической геодезии. По данным каталогов землетрясений Средней Азии и Камчатки впервые показано, что зависимость логарифма числа кластеров от логарифма количества событий в кластерах является линейной. Это позволяет сделать вывод о наличии самоподобия в кластерной сейсмичности.

Научно-практическое значение и реализация результатов.

Разработанные методы и средства геоинформационного анализа и обработки геолого-геофизической информации применялись в ИППИ РАН при выполнении проектов РФФИ 06-07-89139-а, 07-07-12019-офи, 09-07-12077-офи_м, 10-07-00204-а. В рамках этих проектов разработанные в диссертации методы, алгоритмы и программные средства применены для решения ряда практических задач сеймотектоники и геодинамики. В том числе: новые компьютерные методы визуального исследования и трансформации пространственно-временных процессов применены для анализа взаимодействия пространственно-временных полей сейсмичности и скорости деформаций поверхности Земли по данным GPS; метод выделения кластерной составляющей сейсмического потока применен для анализа каталогов землетрясений Средней Азии и Камчатки; метод оценивания параметров пространственно-временных аномалий применен анализа предвестников землетрясений по ретроспективным данным.

Разработанные архитектура, специальное математическое и программное обеспечение использованы для создания распределенных сетевых ГИС ГеоТайм 2.0 и Гео-ЕСИМО, предназначенных для анализа пространственно-временных процессов. Разработанные в диссертации методы и алгоритмы интеграции сетевой

ГИС в распределенную систему реализованы в ГИС Гео-ЕСИМО и проходят опытную эксплуатацию в рамках государственного контракта на выполнение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по проектам ГУ «ВНИИГМИ-МЦД» подпрограммы «Создание единой государственной системы информации об обстановке в Мировом океане» федеральной целевой программы «Мировой океан» в 2009 и 2010 годах.

ГИС ГеоТайм 2.0 и региональные ГИС-проекты находятся в открытом доступе на портале ИППИ РАН www.geo.iitp.ru. ГИС ГеоТайм 2.0 применяется для анализа сеймотектонических и геодинамических процессов по геолого-геофизическим данным в ИФЗ РАН, в Институте горной механики Чешской Академии наук (в рамках проекта «Изучение современных геодинамических процессов с помощью методов геоинформатики»), в Институте сейсмологии Китайской Сейсмологической Администрации (в рамках проекта «Китайско-Российские исследования внутренне-континентальной сеймотектоники, и новые подходы и новые технологии в наблюдении и прогнозе землетрясений»), в сейсмологических научных центрах Индии в рамках Комплексной Долгосрочной Программы научно-технического сотрудничества между Россией и Индией (ILTP).

Апробация результатов диссертации. Результаты докладывались на международных конференциях: на Генеральных Ассамблеях Европейской сейсмологической комиссии в 2008 г. на Крите [5] и в 2010 г. в Монтпелье [16]; на Генеральной Ассамблеи Международной Ассоциации сейсмологии и физики недр Земли в 2005 году в Сантьяго [1]; Конференция Комитета по данным для науки и техники в 2008 году в Киеве [6]; на конференциях по ГИС Европейской Ассоциации Лабораторий Географической Информации (AGILE) в 2009 г. в Ганновере [11,12] и 2010 г. в Гимарайнше [14]; на конференциях молодых ученых и специалистов ИППИ РАН "Информационные технологии и системы" (ИТиС) в 2007 г. в Звенигороде [4], в 2008 г. в Геленджике [7], в 2009 г. в Бекасово [13], в 2010 г. в Геленджике [19].

Положения, выносимые на защиту.

- Методы и алгоритмы анализа пространственно-временных процессов:
 - выделение кластерной составляющей сейсмического потока.
 - обнаружение нестационарностей в 3D сеточных полях, временные ряды которых подчиняются авторегрессионной модели.
 - оценивание параметров аномалий и построение решающего правила прогноза.
- Разработка архитектуры, специального математического и программного обеспечения геоинформационных систем для анализа пространственно-временных процессов.
- Экспериментальные результаты:
 - обнаружение степенной зависимости между числом кластеров и количеством событий в кластере.

- обнаружение статистически значимой связи между динамикой поля скорости деформаций поверхности Земли по данным GPS и сейсмичностью.

Публикации. Основные результаты диссертации опубликованы в 20 работах, список которых приведен в конце автореферата.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы из 83 наименований. Работа изложена на 115 страницах и содержит 33 рисунка и 1 таблицу.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность проблемы, определяются цели исследования, и дается общая характеристика работы.

В первой главе вводятся основные понятия пространственно-временного геоинформационного анализа: рассматриваются этапы развития аналитических геоинформационных систем, модель геоинформационных данных, задачи и методы геоинформационного анализа и формулируются требования к сетевым ГИС.

ГИС технологии, предназначенные для анализа геоинформационных данных и для извлечения из них существенной информации и знания о географических объектах, процессах и явлениях, появились в 80-е годы и были реализованы в виде настольных векторно-растровых ГИС. Следующее десятилетие связано с этапом становления сетевых серверных и клиент-серверных ГИС технологий. Сопоставление этих архитектур показывает, что более перспективными для научных и прикладных исследований являются технологии, реализованные на клиент-серверных системах. В последнее десятилетие развиваются исследования по созданию сетевой геоинформационной среды, которая включает в себя сетевые ГИС, интегрированные с внешними распределенными информационными, аналитическими и вычислительными ресурсами.

Аналитические ГИС ориентированы в основном на решение двух типов задач: (1) Просмотр многодисциплинарной ГИ, картографическое измерение и оценивание связей между ее компонентами и (2) Нахождение многомерных зависимостей в ГИ, прогнозирование, обнаружение и распознавание целевых заранее неизвестных стационарных и динамических свойств изучаемой среды.

В главе сформулированы наиболее существенные требования к современным сетевым ГИС технологиям, которым посвящена диссертация.

Первое требование состоит в необходимости поддержки комплексного геоинформационного анализа разнотипных данных. Это обусловлено тремя факторами: (А) взаимодействием рассматриваемых процессов, (Б) невозможностью прямых измерений их ключевых характеристик, (В) недостаточным объемом наблюдений и воздействием на результаты измерений шумов. В этой ситуации для поиска устойчивых решений требуются методы, позволяющие комплексно использовать все доступные многодисциплинарные данные об изучаемом процессе и имеющееся экспертное знание.

Второе требование относится к необходимости использовать при анализе одновременно ГИ из распределенных хранилищ данных, которые могут находиться на удаленных серверах и на компьютере пользователя. Возможность подключения данных с компьютера пользователя обеспечивает их конфиденциальность, что часто является определяющим требованием владельцев данных.

Следующее требование обусловлено тем, что в научных исследованиях часто необходима настройка ГИС пользователем на интересующую его предметную область. Для этого сетевая ГИС должна иметь открытую архитектуру и обладать возможностью подключения к базовой конфигурации системы специализированных модулей (плагинов), которые, как и данные, могут быть распределены на серверах и на компьютере пользователя.

Четвертое требование относится к обеспечению возможности сохранения результатов пользователя, которые включают в себя полученные при работе геоинформационные слои, ГИС-проект, состоящий из метаданных информационных ресурсов и плагинов, а в некоторых случаях и запись последовательности выполненных пользователем операций анализа с указанием их параметров.

Пятое требование основано на существенной роли наглядности при исследовании ГИ. Для ГИС, предназначенных для научных и прикладных исследований, важно обеспечить интерактивность операций анализа данных. Тесное взаимодействие интерактивных методов аналитического и визуального исследований обеспечивает основу пространственного и пространственно-временного когнитивного моделирования и существенно упрощает понимание исследуемого материала. Наглядность обеспечивается высокой интерактивностью управления процессом анализа и высококачественным картографическим отображением данных на каждой операции анализа.

И, наконец, последнее требование относится к обеспечению совместимости форматов данных с наиболее распространенными ГИС стандартами.

Во второй главе рассматриваются теоретические основы технологии геоинформационного исследования пространственно-временных данных применительно к анализу сейсмологических процессов.

Основная идея геоинформационного анализа в технологии ГеоТайм состоит в дополнении традиционного анализа временных рядов и временных последовательностей событий, получаемых по данным геомониторинга, комплексным пространственно-временным анализом вычисленных по этим данным многодисциплинарных динамических полей. Эти процессы описываются 2D, 3D и 4D сеточными и векторными данными. В главе для целостного представления материала рассматриваются реализованные в ГИС ГеоТайм методы оценивания основных пространственно-временных характеристик сейсмического потока и методы обнаружения аномалий в 3D динамических полях. В автореферате мы кратко рассмотрим четыре разработанных в диссертации метода.

Метод выделения кластерной составляющей сейсмического потока.

В первом приближении принято считать, что землетрясения в рассматриваемом диапазоне магнитуд представляют стационарный пуассоновский поток событий. Пуассоновская модель нарушается явлениями роев землетрясений и афтершоковой

сейсмичностью. Эти нестационарности алгоритмически обнаруживаются и удаляются из каталогов землетрясений. Однако физическое моделирование процесса разрушения горных пород и анализ реальной сейсмичности, выполненные Г.А.Соболевым и А.В. Пономаревым, показывают, что в очищенном от роев и афтершоков сейсмическом потоке присутствуют цепочки связанных событий, которые подчиняются особым пространственным, временным и энергетическим условиям. Выделение из этой составляющей сейсмического потока представляет интерес для поиска предвестников землетрясений. Предложенный в диссертации метод является развитием метода Соболева и Пономарева.

Возможность образования кластеров землетрясений в сейсмическом потоке следует из модели лавинно-неустойчивого трещинообразования (ЛНТ-модель), предложенной в Институте физики Земли РАН В.И. Мячкиным и другими. Основу модели составляют два явления: взаимодействие полей напряжений трещин и локализация процесса трещинообразования. Считается, что оба эти явления неизбежно происходят перед разрушением любого материала и горной породы, в частности, при условии длительного действия медленно меняющихся по величине нагрузок.

В методе Соболева-Пономарева два события s_1 и s_2 входят в один кластер, если выполнено 3 условия:

- $m_2 \leq m_1$, где m_1 – магнитуда или энергетический класс (характеризуют энергию) события s_1 , а m_2 – аналогичная величина для события s_2 ,
- расстояние между событиями $\rho(s_1, s_2) \leq 3L(s_1)$, где $L(s_1)$ – длина разрыва в очаге события s_1 , которая по эмпирической формуле зависит от энергии события s_1
- и время между событиями $0 \leq t_2 - t_1 \leq T(s_1)$, где t_1 и t_2 - время наступлений событий s_1 и s_2 , порог $T(s_1)$ задается эмпирически.

В диссертации предлагается модификация третьего условия, суть которой состоит в следующем.

а) Для нахождения времени между событиями используется соотношение фрактальности. При этом оказывается, что с учетом условия (1) ожидаемая интенсивность появления событий λ не зависит от энергии события s_1 .

б) Считается, что последовательность событий с учетом условия (1) в отсутствие кластеризации является пуассоновским процессом с параметром λ , а интервал $T(s_1)$ выбирается так, чтобы для пуассоновского процесса событий с магнитудами m_1 и больше на площадке с линейным размером $3L(s_1)$ с вероятностью α появлялось бы больше одного события.

В диссертации показано, что в таком случае $T(s_1)$ имеет вид

$$T(s_1) = -\ln(1 - \alpha) * A_{m_0}^{-1} * 10^{b(4.1-m_0)} * \left(\frac{9}{1000}\right)^{-b} * (1 - 10^{-b})$$

где A_{m_0} – активность, то есть число событий с магнитудой m_0 на площади 1 тыс. км² за 1 год, а b - угол наклона графика повторяемости. Из этой зависимости видно, что предлагаемый пороговый интервал $T(s_1)$ не зависит от энергии конкретного

события, а только от параметров сейсмичности в конкретном месте. Это происходит из-за того, что уменьшение числа землетрясений из-за увеличения магнитуды компенсируется увеличением площади эпицентра (обсуждение физической стороны этого обстоятельства можно найти в работе В.Б.Смирнова¹).

Метод обнаружения нестационарностей в 3D сеточных полях, временные ряды которых подчиняются авторегрессионной модели

Методы обнаружения нестационарностей в динамических 3D полях разработаны для обнаружения аномалий, которые могут предшествовать землетрясениям (предвестники землетрясений). Поиск предвестников основан на том, что процесс подготовки землетрясения сопровождается пространственно-временными аномалиями характеристик геологической среды в некоторой окрестности будущего события. В технологии ГеоТайм для обнаружения аномалий в 3D сеточных полях (2 пространственные координаты и время) анализируется временная последовательность значений каждой точки координатной сетки пространственного среза слоя. Предполагается, что обычно анализируемая последовательность стационарна, а при подготовке землетрясения стационарность нарушается. Отклонение от стационарности можно заметить, сравнивая статистические характеристики двух выборок, относящихся к двум последовательным интервалам (временным окнам). При этом дополнительно предполагается, что выборки на каждом интервале являются стационарными, но могут отличаться распределениями, форма которых, в свою очередь, зависит от одного или нескольких параметров. Тем самым задача сводится к проверке гипотезы о совпадении (различии) параметров этих распределений. Проверка такой гипотезы осуществляется с помощью статистики, описанной ниже.

Рассмотрим модель, в которой временные ряды подчиняются авторегрессионной модели первого порядка. Обозначим математические ожидания элементов временного ряда на двух последовательных интервалах T_1 и T_2 через μ_1 и μ_2 . Требуется проверить гипотезу о равенстве средних значений двух рядов:

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 \text{ против } H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \quad (1)$$

Коэффициенты корреляции ρ_1, ρ_2 и дисперсии σ_1^2, σ_2^2 неизвестны и попарно равны: $\rho_1 = \rho_2 = \rho, \sigma_{1\varepsilon} = \sigma_{2\varepsilon} = \sigma_\varepsilon$, а выборки из двух окон считаются независимыми.

Обозначим через $y_i (t_i = 1, \dots, n_i, i = 1, 2)$ наблюдаемые значения i -го ряда, $n_1 + n_2 = n$ - суммарная длина двух наблюдаемых рядов. Гипотезу (1) будем проверять на основе асимптотических оценок параметров $\hat{\mu}_1, \hat{\mu}_2, \hat{\rho}$ и $\hat{\sigma}^2$, где $\hat{\mu}_i = \bar{Y}_i$ - среднее значение i -го ряда.

В главе показано, что критерий проверки гипотезы $H_0 : \mu_1 = \mu_2$ может быть основан на статистике, являющейся развитием t -статистики Стьюдента:

$$t_1 = (\hat{\mu}_1 - \hat{\mu}_2) / \sqrt{\frac{n}{n_1 n_2} \frac{1 + \hat{\rho}}{1 - \hat{\rho}} \hat{\sigma}_y^2}, \quad (2)$$

¹ В.Б. Смирнов, "Повторяемость землетрясений и параметры сейсмического режима", Вулканология и сейсмология, №4, 59-70 (1995)

где

$$\hat{\rho} = \frac{\sum_{i=1}^2 \sum_{t_i=2}^{n_i} (y_{t_i} - \bar{Y}_i)(y_{t_i-1} - \bar{Y}_i)}{\sum_{i=1}^2 \sum_{t_i=2}^{n_i} (y_{t_i-1} - \bar{Y}_i)^2}, \quad \hat{\sigma}_y^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^2 \sum_{t_i=1}^{n_i} (y_{t_i} - \bar{Y}_i)^2.$$

При выполнении гипотезы H_0 эта статистика имеет асимптотически нормальное стандартное распределение: $t_1 \sim N(0,1)$. Если же верна альтернатива $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$, то эта статистика будет смещена относительно нуля влево или вправо в зависимости от знака альтернативы.

Поэтому проверка двусторонней гипотезы (1) состоит в сравнении статистики $|t_1|$ с критической точкой $N(0,1)$ -распределения: если $|t_1| > t_{\text{кр}}(\alpha)$, то гипотеза H_0 отвергается на уровне значимости 2α в пользу гипотезы H_1 (α – вероятность того, что с.в. с распределением $N(0,1)$ превысит критическую точку $t_{\text{кр}}(\alpha)$ этого распределения). Проверка односторонней гипотезы осуществляется аналогично. Так, в случае проверки гипотезы вида $\mu_1 = \mu_2$ против альтернативы $\mu_1 > \mu_2$ нулевую гипотезу следует отвергнуть в пользу односторонней альтернативы на уровне α , если $t_1 > t_{\text{кр}}(\alpha)$.

Метод оценивания параметров пространственно-временных аномалий

При прогнозе землетрясения с заданной магнитудой надо формально предсказать место и время события. В диссертации под аномалией подразумевается пространственно-временная область с большими положительными или отрицательными значениями функции. При этом предполагается, что значения аномалии, отражающей механизм развития очага подготовки землетрясения, максимальны в центре зоны подготовки очага землетрясения и экспоненциально уменьшаются по пространству к краям.

В каждом временном срезе 3D сеточного слоя аномалий ищется область с минимальной ошибкой аппроксимации в предположении, что такая область аппроксимируется гауссианой. При этом по критерию МНК подбираются параметры гауссианы: координаты центра, масштаб и высота. Для оценки степени уверенности в наличии искомой аномалии используется нормированная величина точности аппроксимации аномалии гауссианой, которая изменяется от 0 до 1.

Для построения корреляционной функции гауссианы с данными раstra требуется выполнить большое число операций. Для сокращения вычислений используется двумерное БПФ: в таком случае прямое вычисление свертки заменяется перемножением фурье-образов функций. В главе предлагается также алгоритм использования параметров аномалий для объявления и отмены тревоги ожидания землетрясения и вводится оценка точности прогноза.

В третьей главе предложены архитектура и специальное программное обеспечение для геоинформационного анализа пространственно-временных процессов геолого-геофизических данных. Разработаны два технологических решения: (1) архитектура и функциональность сетевых ГИС для анализа

пространственно-временных процессов и (2) схема интеграции сетевой ГИС в большую распределенную систему. Оба решения рассматриваются на примере реализованных в диссертации ГИС ГеоТайм 2.0 (<http://www.geo.iitp.ru/geotime/index.htm>) и ее модификации ГИС Гео-ЕСИМО (<http://data.meteo.ru:81/portal/portal/test/ippi>).

На основании требований к аналитическим ГИС для анализа пространственно-временных данных, сформулированными в первой главе, в диссертации были разработаны технологические решения и предложены пути их программной реализации. В первую очередь, это многоплатформенность системы, которая достигается реализацией ГИС ГеоТайм в виде приложения на языке Java.

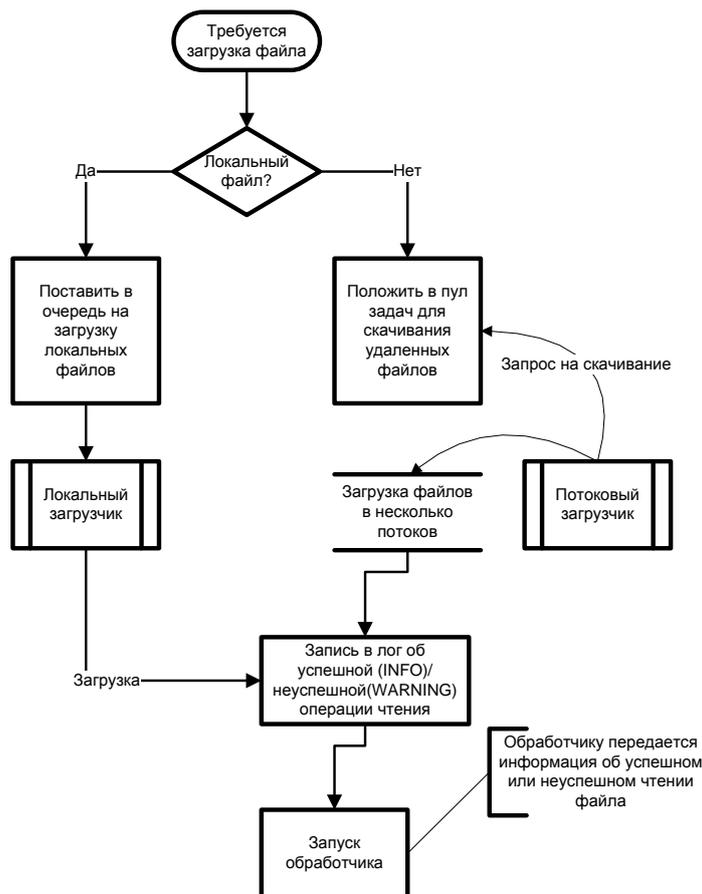


Рис. 1. Блок-схема алгоритма многопоточкового загрузчика.

Следующее требование состоит в необходимости быстрой загрузки потоков больших массивов данных с распределенных серверов. Это требование реализуется с помощью разработанного многопоточкового загрузчика данных. Обычный подход подразумевает загрузку файлов один за другим, но он не является не эффективным, так как данные являются разнородными и скорости доступа и по объему информации. В предложенном подходе сначала определяется источник файла - локальный или удаленный компьютер. Для локальных файлов считается, что скорость доступа велика, задержек нет и нет необходимости загрузки в нескольких потоках. Поэтому загружаются данные с локального компьютера в один отдельный поток. Для данных с удаленных компьютеров загрузка в несколько потоков важна: скорость с разных серверов может быть разная, так же, как и задержки и один медленный сервер может заблокировать загрузку всех данных. После получения

требования загрузки файла создается "задача", в которой и происходит загрузка. Она кладется в пул задач, который постоянно отслеживает их наличие и раздает потокам для исполнения. После загрузки в том же потоке вызывается специальный обработчик, который и обрабатывает загруженные данные. Блок-схема многопоточного загрузчика данных изображена на рис. 1.

Третье требование – настройка на предметную область. Была предложена модульная схема архитектуры, в которой ГИС состоит из ядра и динамически подключаемых плагинов. Плагины представляют собой откомпилированные Java-классы, реализующие интерфейс Plugin, и подключаются динамически на этапе исполнения программы при помощи технологии Reflection. Модули могут располагаться как на стороне сервера, так и на стороне пользователя.

Четвертое требование – хранение больших объемов данных. Загрузка ГИС происходит с использованием технологии Java Web Start. Применение этой технологии позволяет использовать как важные положительные аспекты технологии Java Applet (в первую очередь – удобство распространения приложения через интернет и гарантию использования актуальной версии приложения), так и преимущество запуска системы независимо от веб-браузера. Последнее свойство позволяет исключить негативное влияние веб-браузера на работу системы – в частности, устранить накладываемые им дополнительные ограничения по выделению оперативной памяти, что и позволяет удовлетворить четвертое требование.

Пятое требование - поддержка интенсивных вычислений на компьютере пользователя и удаленных серверах. Это требование реализуется с помощью параллельных вычислений, которые могут выполняться на многопроцессорном или многоядерном компьютере пользователя или на удаленном сервере. Для этого разработан протокол взаимодействия с удаленными серверами, с передачей им запроса на выполнение вычислительно-емких задач и получением ответа в виде отображаемых геоинформационных слоев.

Последнее требование - наглядный картографический анализ, наиболее сложный в реализации в связи с отсутствием четко сформулированных требований к наглядности. Для решения этой задачи были разработаны методы визуального анализа, которые во много повторяют действия эксперта при исследовании пространственно-временных процессов. В число этих методов входят такие, как картографические измерения, анимация отдельных геоинформационных слоев и синхронная анимация нескольких слоев, построение разрезов и профилей, подсчет статистик в задаваемых полигонах.

Систему ГеоТайм условно можно разбить на три подсистемы: хранения, визуализации и обработки данных. Схема структуры системы и подсистем изображена на рис. 2.

Подсистема хранения данных ГИС ГеоТайм разделена на несколько разделов. В разделе *Исходная и обработанная ГИ* хранятся векторные и сеточные данные, которые сопровождаются XML-файлами метаданных. Общий формат представляет 4D данные. В частных случаях, данные вырождаются в соответствующе 2D и 3D массивы. Процессор *компоновки ГИС-проекта* интерпретирует конфигурационный XML-файл метаданных проекта и обеспечивает динамическую загрузку данных и

плагинов в любой момент, пока загружено ядро системы. Процессор *сохранения ГИС-проекта* обеспечивает сохранение на компьютере пользователя измененных конфигурационных файлов ГИС-проектов и новых полученных результатов. В разделе *Загруженные плагины* представлены модули геоинформационного анализа.

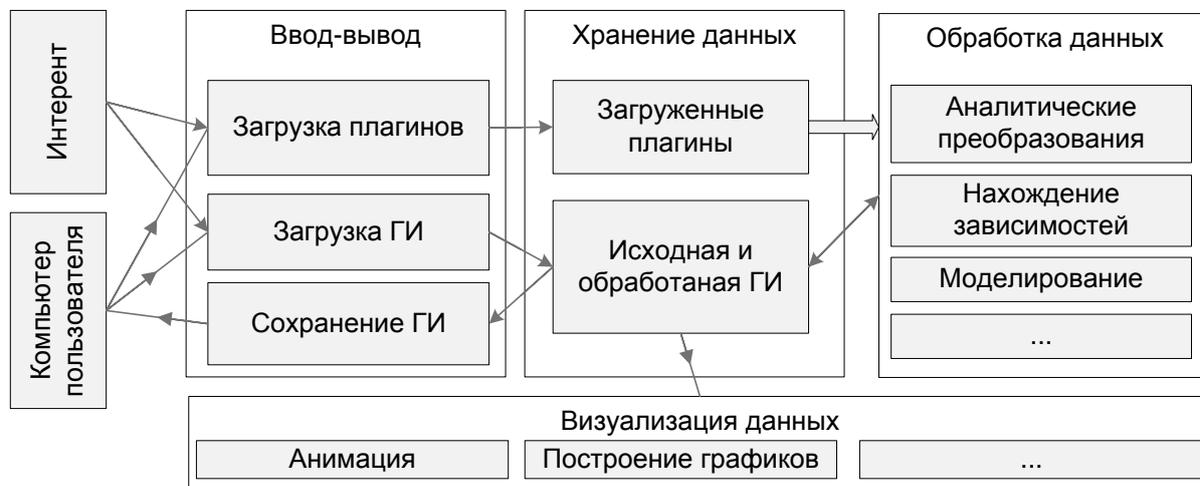


Рис. 2. Схема структуры ГИС ГеоТайм.

Подсистема визуализации данных поддерживает интерактивное изменение области визуализации и масштаба изображения, изменение порядка географических слоев, изменение параметров визуализации 2D, 3D и 4D сеточных и векторных слоев, анимационное интерактивно управляемое представление сеточных слоев в виде динамически меняющихся кадров в любых двумерных проекциях, выполнение картографических измерений, интерактивный просмотр и редактирование сеточных метаданных и векторной атрибутивной информации.

Подсистема обработки данных позволяет выполнять операции комплексной обработки и анализа данных, алгоритмы которых реализованы в виде плагинов: аналитические преобразования, правдоподобный вывод и моделирование.

ГИС ГеоТайм запускается с подготовленными ГИС-проектами ИППИ РАН либо с портала «Аналитические ГИС online», <http://www.geo.iitp.ru/>, либо по запросу <http://www.geo.iitp.ru/geotime/index.htm>. Кроме того возможен режим запуска системы с ГИС-проектом, находящимся на компьютере пользователя.

Далее в главе рассматриваются методы интеграции сетевой ГИС в большую распределенную информационно-аналитическую систему, оперирующую в реальном времени с потоками разнотипных пространственно-временных данных. В качестве примера рассматривается интеграция разрабатываемой на базе ГеоТайм ГИС Гео-ЕСИМО в Единую государственную систему информации об обстановке в мировом океане (ЕСИМО), создаваемую в рамках ФЦП «Мировой океан» (<http://www.ocean-fcr.ru/>). Задача ЕСИМО состоит в поддержке информационного обеспечения всей деятельности по изучению Мирового океана, мониторингу его состояния и использования его ресурсов. ЕСИМО оперирует огромными объемами распределенных и разнотипных пространственных и пространственно-временных данных.

Для интеграции ГИС в распределенную информационно-аналитическую среду, оперирующую с динамическими потоками данных, требуется обеспечить четыре основные функции:

1. Загрузка в ГИС потоков данных с серверов среды и их обновление в реальном времени.
2. Сохранение результатов, полученных в ГИС, в БД среды для повторного использования этих данных или для передачи другому пользователю среды.
3. Запуск вычислительных задач на серверах среды с использованием ГИС-интерфейса для формирования задания с возможностью отслеживания хода вычислений и получения результатов.
4. Интеграция с предметно-ориентированным порталом посредством портлета, выполненным в соответствии со спецификацией JSR-286 Portlet Specification.

Все эти функции реализованы в ГИС Гео-ЕСИМО. Архитектура интеграции взаимодействия сетевой ГИС с распределенными информационно-вычислительными системами ЕСИМО выполнена на основе применения сервис-ориентированного подхода, при котором пользователь выполняет работу, оставаясь в ГИС, а взаимодействие осуществляется посредством предметно-ориентированных ГИС-интерфейсов и Web-сервисов.

Функциональность ГИС Гео-ЕСИМО во многом повторяет базовые функции GeoТайм. Отличия от GeoТайм связаны с предметной областью ЕСИМО и с тем, что ГИС-проекты ЕСИМО могут содержать большое количество картографических слоев. Это потребовало модификаций в способе хранения данных и в аналитике. В частности, разработано представление информационных ресурсов Гео-ЕСИМО в виде древовидных списков слоев, развиты инструменты интерактивной и анимационной картографии, включая поддержку различных картографических проекций, реализованы методы картографических измерений расстояний, площадей, атрибутов векторных слоев и значений 2D и 3D сеточных слоев, созданы новые предметно-ориентированные модули анализа пространственно-временных данных.

На рис. 3 и 4 приведены примеры визуализации результатов двух операций Гео-ЕСИМО.

В четвертой главе методы главы 2 применяются для выполнения экспериментальных исследований по проблемам геодинамики: пространственный анализ шумов в каталоге землетрясений, анализ взаимодействия сейсмичности с полем деформаций земной поверхности, выделение кластерной составляющей сейсмического потока и обнаружение предвестников землетрясений.

Анализ динамики взаимодействия сейсмичности и деформаций земной поверхности обычно выполняется путем сопоставления пространственных характеристик соответствующих полей. В данной работе предпринята попытка проанализировать эту связь в пространстве и во времени.

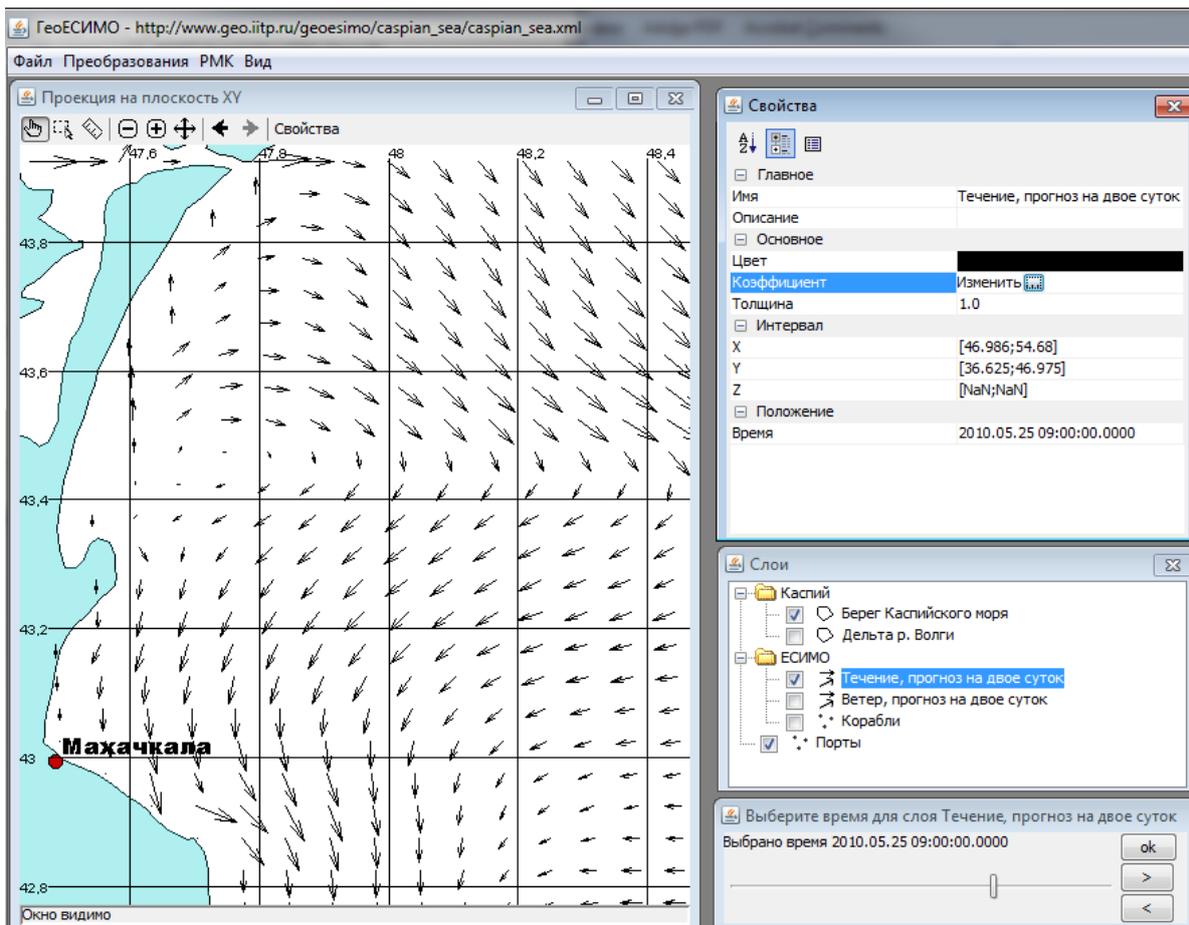


Рис. 3. Визуализация временного среза пространственно-временного векторного поля прогноза течений на 9:00, 25 мая 2010 г. Внизу справа: окно управления анимацией слоя.

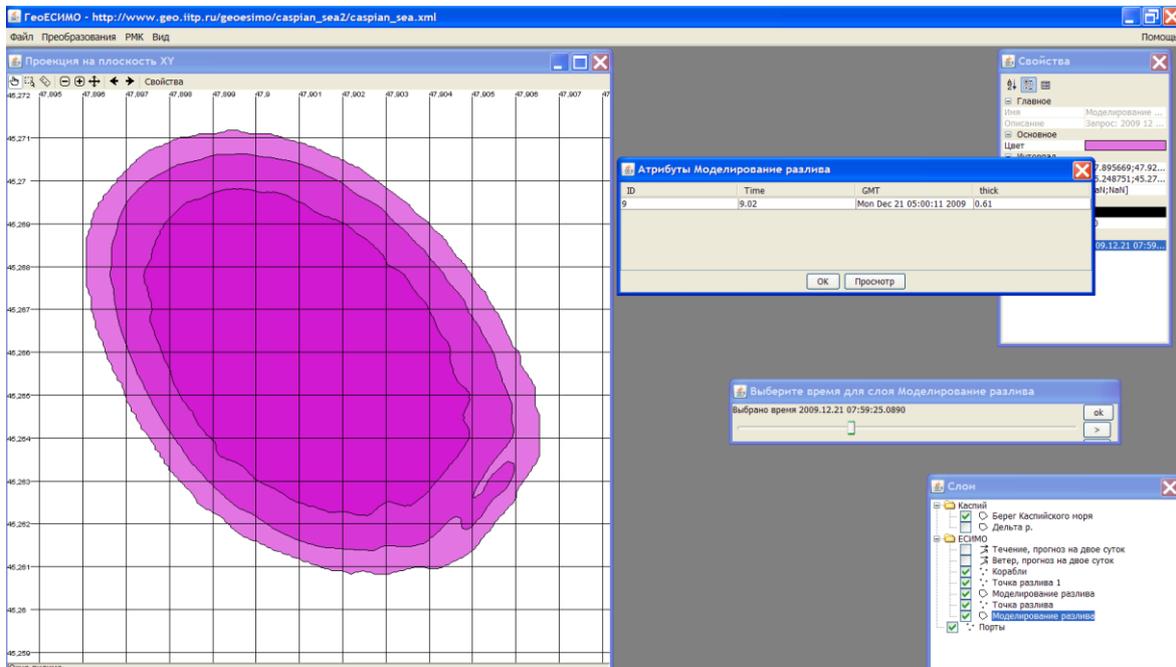


Рис. 4. Пример чтения атрибутов нефтяного пятна: ID - идентификатор пятна, Time - время в часах после разлива нефти, GMT - время съема данных, thick - толщина нефтяного слоя в точке измерения (центр пятна).

Работа выполнена по данным Бишкекского полигона Научной станции РАН (Тянь-Шань). Использовались каталог землетрясений KNET (1994-2008гг., 708 событий, $K \geq 7$) и данные GPS (временные последовательности горизонтальных перемещений 14 станций, 23.07.1997– 25.05.2007, средний интервал измерений 19 дней).

Анализ выполнен в несколько этапов.

Этап 1: анализ сейсмического каталога экспертом. Анализ показал, что исследуемая территория неоднородна. Территория была разделена на три зоны.

Этап 2: интерполяция временных последовательностей к временным рядам, сглаживание временных рядов, вычисление временных рядов горизонтальных компонент скоростей станций GPS.

Этап 3: интерполяция временных рядов скоростей в 3D сеточные поля С-Ю (V_x) и В-З (V_y).

Этап 4: вычисление 3D полей скоростей деформаций $\partial V_x/\partial x$, $\partial V_y/\partial y$, $\partial V_x/\partial y$, $\partial V_y/\partial x$ и их инвариантов: дивергенции $div\mathbf{V}=\partial V_x/\partial x+\partial V_y/\partial y$, ротора $rot\mathbf{V}=\partial V_x/\partial y-\partial V_y/\partial x$ и сдвиговой деформации $sh\mathbf{V}=0.5\cdot((\partial V_x/\partial x - \partial V_y/\partial y)^2 + (\partial V_x/\partial y + \partial V_y/\partial x)^2)^{0.5}$.

Этап 5: анализ пространственно-временного взаимодействия между характеристиками поля скорости деформаций и сейсмичностью. Анализ показал, что сильные землетрясения с $K>10$ за период 1998-2006 гг. в основном происходили в пространственно-временных окрестностях экстремальных значений $div\mathbf{V}$ и $rot\mathbf{V}$. Показано, что с вероятностью более 0.99 можно считать, что в эти периоды сильные землетрясения происходили не случайно.

Землетрясения в окрестностях экстремальных значений $div\mathbf{V}$ и $rot\mathbf{V}$ происходили до и после экстремумов. Быстрые изменения $div\mathbf{V}(t)$ и $rot\mathbf{V}(t)$ могут свидетельствовать об увеличении тектонических напряжений или изменении их тензора, что может быть причиной сильного землетрясения. С другой стороны после сильного землетрясения напряжения изменяются, что может быть причиной изменений $div\mathbf{V}$ и $rot\mathbf{V}$. Оба эти явления могут быть следствием некоторого регионального или глобального процесса.

Таким образом, показано, что на территории Бишкекского полигона обнаружена статистически значимая связь сейсмичности с инвариантами тензора поля скорости деформаций по данным GPS (ротором и дивергенцией поля). В периоды экстремальных значений скорости сокращения или расширения размеров участков земной поверхности происходит усиление сейсмичности и возникают сильные землетрясения.

Следует заметить, что статистические выводы данной работы получены на весьма ограниченном материале. Для дальнейших исследований необходимо улучшение пространственной системы пунктов спутниковой геодезии и частоты сеансов измерений.

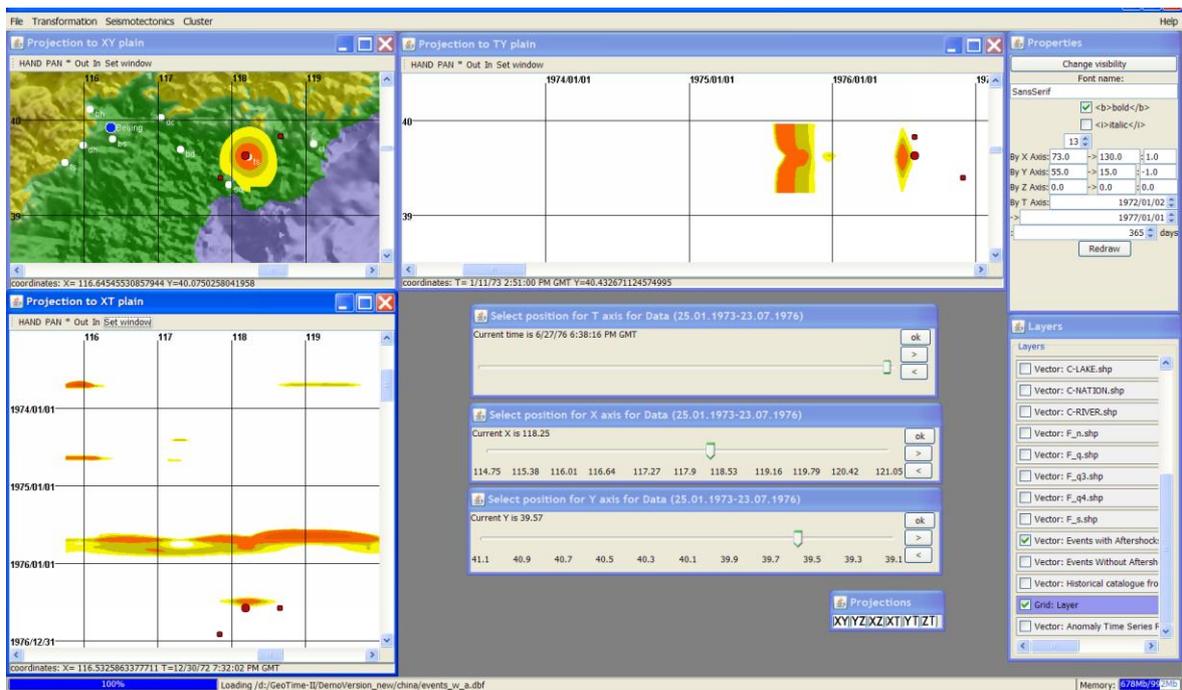


Рис. 5. Образ предвестника Таншаньского землетрясения в проекциях на плоскости XY , XT , YT (зона оранжевого цвета в окрестности эпицентра Таншаньского землетрясения). Белые кружки – станции геомониторинга, красные кружки – эпицентры землетрясений с магнитудой $M \geq 6.8$. Кроме аномалии, предшествующей Таншаньскому землетрясению, на проекциях XT , YT можно видеть региональные аномалии.

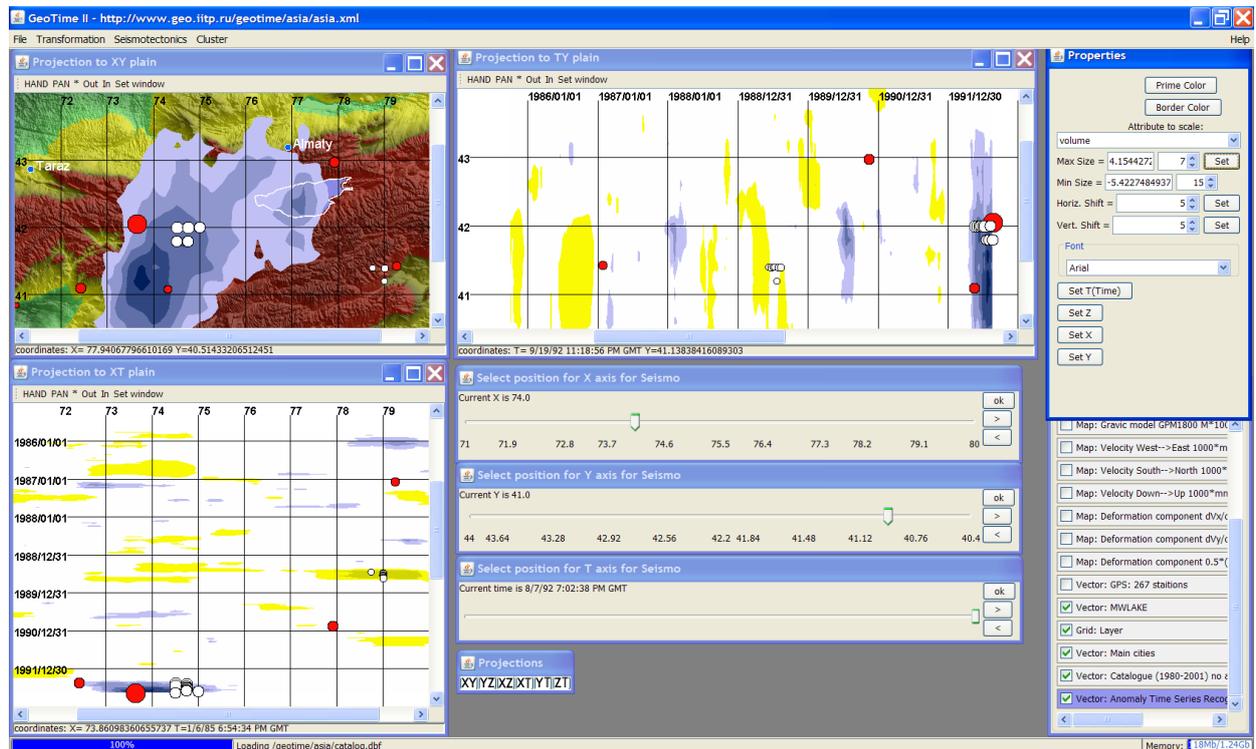


Рис. 6. Образ аномалии, предшествующей Суусамырскому землетрясению. Окна XY , XT , YT представляют проекции 3D поля аномалий. Интенсивности желтого и синего цветов соответствуют значимости значений положительных и отрицательных аномалий. Увеличение интенсивности тона соответствует увеличению значимости аномалии. Проекция XY соответствует моменту времени $T=28.07.1992$ (21 день до землетрясения), проекция XT соответствует значению координаты $Y=41^\circ$, проекция YT соответствует значению координаты $X=74^\circ$.

Анализ предвестников землетрясений.

Рассмотрим пример обнаружения предвестников Таншаньского землетрясения в Китае, произошедшего 28.07.1976 с магнитудой $M=7.9$. Входными данными являлись 10 координатно-локализованных временных рядов, представляющих ежесуточные геофизические, геодезические и геохимические измерения с 1972 по 1976 гг. Ряды были центрированы, нормализованы, возведены в квадрат и интерпретировались как энергетический отклик геологической среды на происходящие в ней тектонические процессы. С рядов также были сняты сезонные ритмы. Далее ряды были интерполированы в 3D поле отклика, по которому было вычислено 3D поле аномалий. Срезы этого поля в проекциях на плоскости XU , XT , UT (ось X соответствует долготе, ось U – широте и ось T – времени), представляющие зону пространственно-временной аномалии, предшествующей Таншаньскому землетрясению, показаны на рис. 5.

Суусамырское землетрясение произошло 19.08.1992 г. Энергетический класс землетрясения $K=17$ (это соответствует магнитуде землетрясения 7.2). Для анализа использовался каталог со снятыми афтершоками землетрясений, состоящий из 16329 событий энергетического класса $K > 7$, 1980 - 2001 гг. Предварительная обработка каталога выполнена в ИФЗ РАН Г.А. Соболевым.

Анализировалась плотность эпицентров землетрясений. На рис. 6 показаны результаты анализа аномалий в проекциях на плоскости XU , TU и XT . Проекция на плоскость XU показывает сильную отрицательную аномалию. Землетрясения с $M \geq 5.5$ показаны на всех проекциях красными кружками. Круг наибольшего размера соответствует Суусамырскому землетрясению. Белые кружки показывают координаты гауссиан, которые аппроксимируют аномалии с достаточно высокой точностью. На рисунке можно видеть две такие аномалии. Малые белые кружки соответствуют положительной аномалии, которая не связана с сильным землетрясением. Большие белые кружки соответствуют положительной аномалии, которая предшествует Суусамырскому землетрясению. Данный подход может быть использован для прогноза землетрясений.

Выделение кластерной составляющей сейсмического потока

Для анализа взято два сейсмически активных региона: Центральная Азия и Камчатка. Использовались очищенные от афтершоков каталоги для Центральной Азии² (1967-1994 гг., 15363 события, $K > 7$) для Камчатки³ (1962-2004 гг., 71234 события, $K > 7$).

Для сравнения кластеризация выполнялась также для синтезированных каталогов, параметры которых совпадали с оригинальными, но временной процесс подчинялся распределению Пуассона. На рис. 7 показаны зависимости числа кластеров от их размеров (числа событий в кластере) для Центральной Азии и Камчатки. Видно, что для малых размеров кластеров (для которых число кластеров одного размера достаточно велико), данная зависимость имеет линейный вид в двойном логарифмическом масштабе: $\lg N(n) = a - b \lg n$, где n – размер кластера,

² Каталог подготовлен Г.А. Соболевым (ИФЗ РАН)

³ Каталог подготовлен В. Б. Смирновым (МГУ).

$N(n)$ – число кластеров размера n , то есть эта зависимость является степенной. На Камчатке для реального каталога эта кривая имеет существенно меньший коэффициент $b_e=3.98$, чем для синтетического $b_r=10.42$. В Средней Азии для синтетического каталога были найдены только кластеры размера $n=2$. Из рис. 7 видно, что число таких кластеров в синтетическом каталоге на порядок меньше их числа в реальном каталоге. Это показывает, что в реальном каталоге тенденция к образованию более длинных кластеров выше, чем в случайном и что реальный сейсмический поток не является пуассоновским. Линейность зависимости логарифма числа кластеров от логарифма количества событий в кластерах свидетельствует о самоподобии кластерной сейсмичности.

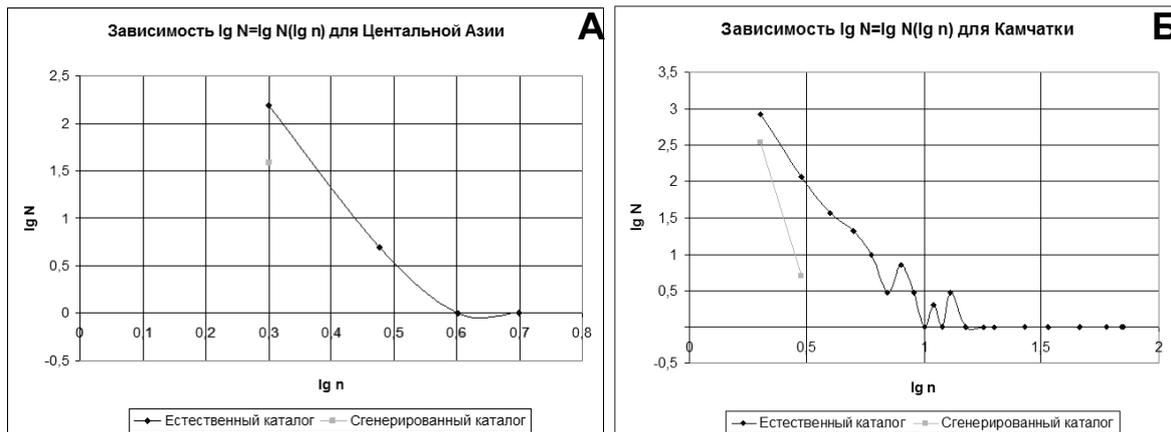


Рис. 7. Зависимость числа кластеров от их размеров (А) Центральная Азия, (Б) Камчатка.

Результаты экспериментальных исследований показывают эффективность применения разработанной геоинформационной технологии ГИС ГеоТайм для анализа пространственно-временных процессов.

Основные результаты диссертации

1. Разработана архитектура, специализированное математическое и программное обеспечение сетевой распределенной ГИС для анализа пространственно-временных процессов и технология интеграции сетевой ГИС с распределенной информационно-аналитической средой. Предложенные архитектура и технология реализованы в ГИС ГеоТайм и Гео-ЕСИМО.
2. Разработана технология применения ГИС ГеоТайм к исследованию динамики взаимодействия полей сейсмичности и деформации земной поверхности. Обнаружена статистически значимая пространственно-временная связь сейсмичности с инвариантами тензора (ротором и дивергенцией) поля скорости деформаций по данным GPS.
3. Найдены и исследованы кластерные составляющие сейсмического потока для регионов Центральной Азии и Камчатки. Показано, что зависимость логарифма числа кластеров от логарифма количества событий в кластерах является линейной. Это свидетельствует о самоподобии кластерной сейсмичности.
4. Обнаружены (ретроспективно) пространственно-временные аномалии, предшествующие Таншаньскому и Суусамырскому землетрясениям.
5. Предложена новая модификация метода выделения из каталога землетрясений кластерной составляющей сейсмического потока, которая усовершенствует

метод Соболева-Пономарева за счет использования свойств фрактальности землетрясений. Разработан эффективный алгоритм выделения кластеров и технология анализа.

6. Разработан метод обнаружения нестационарностей в динамических полях, временные ряды которых подчиняются модели авторегрессии.
7. Разработан метод оценивания параметров пространственно-временных аномалий.

Основные результаты диссертации опубликованы в работах:

1. Gitis V., Yurkov E., Pirogov S., Petrova E., Derendiaev A., Metrikov P. Web-GIS for complex analysis of spatio-temporal processes // Abstracts of the General Assembly of IASPEI, Santiago, 2005.
2. Gitis V., Derendiaev A., Metrikov P. GeoTime II: A Web-GIS for a Complex Analysis of Spatio-Temporal Process // Proceedings of First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Geneva, Switzerland, September 2006.
3. Вайншток А.П., Гитис В.Г., Дерендяев А.Б., Лихачева Э.А., Метриков П.А., Петрова Е.Н., Пирогов С.А., Юрков Е.Ф. Сетевая ГИС для анализа геоэкологической обстановки урбанизированной территории // В кн.: «Геоэкология Москвы: методология и методы оценки состояния городской среды». М.: МедиаПресс, 2006. С. 169-186.
4. Дерендяев А.Б. Геоинформационные Методы Обнаружения Кластеров в Потокe Сейсмических Событий // Труды конференции Информационные Технологии и Системы (ИТиС'07), М.: ИППИ РАН, 2007. С. 166-170.
5. Gitis V., Derendyaev A., Metrikov P. GeoTime II: a new geoinfomation technology of research into seismotectonic processes // 31st General Assembly of the European Seismological Commission, Crete, Greece, 7-12 September, 2008.
6. Gitis V., Derendyaev A., Metrikov P., Shogin A. Geoinfomation technology of spatio-temporal data mining // 21st CODATA International Conference, Scientific Information for Society-from Today to the Future, 5-8 October 2008. Ukraine, Kyiv.
7. Дерендяев А.Б., Метриков П.А., Гитис В.Г. ГеоТайм II – новая геоинформационная технология исследования пространственно-временных процессов // Труды Конференции молодых ученых и специалистов ИППИ РАН "Информационные технологии и системы", М.: ИППИ РАН, 2008. С. 96-103.
8. Гитис В.Г., Юрков Е.Ф., Пирогов С.А., Дерендяев А.Б., Метриков П.А. Теоретические основы анализа процесса подготовки геологических катастроф в технологии ГеоТайм // В книге: Электронная земля. Использование информационных ресурсов и современных технологий для повышения достоверности научного прогноза на основе моделирования решений в интегральных информационных полях. М.: ВИНТИ РАН, 2008. С. 199-228.
9. Гитис В.Г., Дерендяев А.Б., Метриков П.А. ГеоТайм II: технология геоинформационного исследования пространственно-временных процессов // В книге: Электронная земля. Использование информационных ресурсов и современных технологий для повышения достоверности научного прогноза на основе моделирования решений в интегральных информационных полях. М.: ВИНТИ РАН, 2008. С. 250-256.
10. Гитис В.Г., Дерендяев А.Б. Применение ГИС ГеоТайм 2.0 для обнаружения кластеров в потоке сейсмических событий // В книге: Электронная земля.

Использование информационных ресурсов и современных технологий для повышения достоверности научного прогноза на основе моделирования решений в интегральных информационных полях. М.: ВИНТИ РАН, 2008. С. 282-287.

11. Gitis V., Derendyaev A., Metrikov P. An Intelligent Analysis of Spatial and Spatiotemporal Data // 12th AGILE International Conference on Geographic Information Science, 2-5 June 2009. AGILE, Hannover, Germany.
12. Gitis V., Derendyaev A., Metrikov A. GeoTime 2.0: a Network Geoinformation Technology for Exploration of Spatiotemporal Processes // 12th AGILE International Conference on Geographic Information Science, 2-5 June 2009. AGILE, Hannover, Germany.
13. Гитис В.Г., Дерендяев А.Б., Метриков П.А. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ "Сетевая ГИС ГеоТайм 2.0 для анализа пространственно-временных процессов". №2009616489, 2009.
14. Дерендяев А.Б., Гитис В.Г., Соболев Г. А. Геоинформационная технология исследования динамики взаимодействия геофизических пространственно-временных процессов // Труды Конференции молодых ученых и специалистов ИППИ РАН "Информационные технологии и системы", М.: ИППИ РАН, 2009. С.115-124.
15. Derendyaev A., Gitis V., Metrikov P. Detection of Earthquake Precursors in GIS GeoTime // 13th AGILE International Conference on Geographic Information Science, 10-14 May 2010. AGILE, Guimaraes, Portugal.
16. Gitis V., Derendyaev A., Metrikov P. WEB-GIS Technology for Seismic Hazard Research // Proc. of ESC 2010 32nd General Assembly, 4-10 September 2010. European Mediterranean Seismological Centre, Montpellier, p. 141-142
17. Gitis V., Sobolev G., Derendyaev A., Zakrgevskaja N. Analysis of Dynamic Interaction between Seismic and Earth Surface Deformation Fields // Proc. of ESC 2010 32nd General Assembly, 4-10 September 2010. European Mediterranean Seismological Centre, Montpellier, p.238.
18. Соболев Г.А., Закржевская Н.А., Акатова К.Н., Гитис В.Г., Дерендяев А.Б., Брагин В.Д., Сычева Н.А., Кузиков С.И. Динамика взаимодействия полей сейсмичности и деформаций земной поверхности (Бишкекский геодинамический полигон) // М.:Физика земли, №10, 2010. С. 15-37. (Перевод: Sobolev G., Zakrzhevskaya N., Akatova K., Gitis V., Derendyaev A., Bragin V., Sycheva N., Kuzikov S. Dynamics of Interaction between Fields of Seismicity and Surface Deformations (Bishkek Geodynamic Test Area) // Izvestiya Physics of the Solid Earth, Vol. 46, No. 10. P. 817–838.)
19. Дерендяев А.Б., Гитис В.Г., Вайншток А.П. Интеграция сетевой ГИС в распределенную информационно-аналитическую среду // Труды Конференции молодых ученых и специалистов ИППИ РАН "Информационные технологии и системы", М.: ИППИ РАН, 2010. С. 195-199.
20. Гитис В.Г., Вайншток А.П., Дерендяев А.Б. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ "Геоинформационная система для анализа пространственной и пространственно-временной информации об обстановке в мировом океане (ГИС ГеоЕСИМО)". №2010616620, 2010.