

## СЕТЕВЫЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ В НАУКАХ О ЗЕМЛЕ

Рассматриваются две сетевые геоинформационные технологии. Их основные характеристики: (1) сетевой доступ к данным, распределенным на удаленных серверах и ПК пользователя, (2) современные методы извлечения знания из пространственных и пространственно-временных данных, (3) высокая интерактивность и наглядность анализа. Даются примеры решения исследовательских задач.

**Ключевые слова:** геоинформатика; сетевые ГИС; анализ пространственных и пространственно-временных данных.

**1. Введение.** Цель работы - представить сетевые геоинформационные технологии анализа пространственных и пространственно-временных данных. Технологии реализованы в географических информационных системах (ГИС) ГеоПроцессор и ГеоТайм. Технологии применялись для исследования ряда проблем в науках о Земле, таких как оценка сейсмической опасности, исследование рудных и нефтегазовых месторождений, обнаружение и анализ предвестников землетрясений по геофизическим временным рядам и каталогам землетрясений, анализ динамики взаимодействия сейсмичности с полями деформаций поверхности земли и др. Каждое исследование выполнялось в тесном сотрудничестве с экспертами предметных областей. Это позволило разработать методы и алгоритмы, которые во многих отношениях имитируют методы изучения пространственных и пространственно-временных данных экспертами.

**2. Методы геоинформационного исследования.** Современные геоинформационные технологии для научных исследований должны обеспечивать следующие основные требования:

1. Комплексный геоинформационный анализ типовых пространственных и пространственно-временных географических данных.

2. Динамическая загрузка данных и программных модулей (плагинов), распределенных на удаленных серверах и ПК пользователя

3. Запуск интенсивных вычислений на удаленных серверах через ГИС интерфейс.

4. Наличие интерактивных средств аналитического и визуального исследования, которые обеспечивают когнитивное моделирование и упрощают понимание изучаемого материала.

В ГИС применяются три основных метода анализа: визуальное исследование, аналитические преобразования и вывод закономерностей.

Цели визуального исследования – (1) наглядный поиск и представление целевых свойств пространственных и пространственно-временных данных, (2) выполнение картографических измерений, (3) статистическое оценивание свойств данных с применением картографического интерфейса. Цель аналитических преобразований состоит в вычислении новых тематических, пространственных и пространственно-временных свойств данных с помощью заранее заданных

операторов. Методы правдоподобного вывода позволяют найти заранее неизвестные характеристики изучаемых данных, выделить целевые объекты и прогнозировать пространственные и пространственно-временные свойства.

**3. ГИС ГеоПроцессор.** ГИС ГеоПроцессор предназначена для пространственного анализа геоданных. Система реализована как Java апплет. Доступ к системе и региональным ГИС-проектам открыт по адресу: <http://www.geo.iitp.ru/GeoProcessor-2/new/index.htm>.

Областями применения являются анализ пространственных данных, изучение геологической среды и поддержка принятия решений в таких задачах как оценка сейсмической опасности, прогноз природных ресурсов, экологическое районирование. Одной и важнейших сетевых функций системы является возможность динамически интегрировать геоданные, распределенные в телекоммуникационных сетях и на ПК пользователя (последнее обеспечивает конфиденциальность данных пользователя). Система также поддерживает возможность сохранения результатов пользователя (ГИС слоев и ГИС-проекта).

### 4. Примеры применения ГИС ГеоПроцессор.

#### 4.1. Оценивание максимального ущерба.

**Задача:** оценивание ущерба (постройки типа 7КП) от максимального землетрясения для городов.

**Данные:** Пиковые ускорения  $A$ , города Северного Кавказа с населением более 30000 человек, соотношения инженерной геологии.

**Технология:**

1. Вычисление поля максимальной интенсивности сотрясений  $I = (\lg A - 0.014) / 0.3$ .

2. Вычисление поля доли разрушений  $V$ :  $V = 0$ , если  $I < 7$ ;  $V = 3.5\%$ , если  $I = 7$ ;  $V = 11.9\%$ , если  $I = 8$ ;  $V = 37\%$ , если  $I = 9$ . [Аптикаев и др., 1997].

3. Вычисление круговых буферных зон городов с радиусом 5 км, и оценивание среднего ущерба в предположении равномерной застройки (Рис. 1).

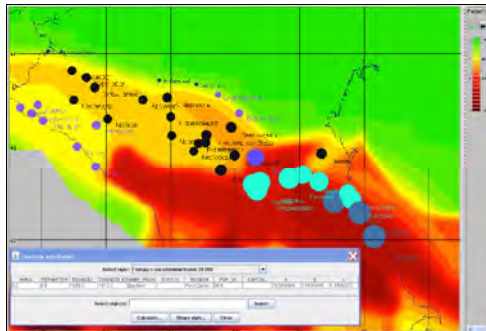
#### 4.2. Анализ сейсмической опасности

**Задача:** выделение зон с  $M_{\max} > 6.5$ .

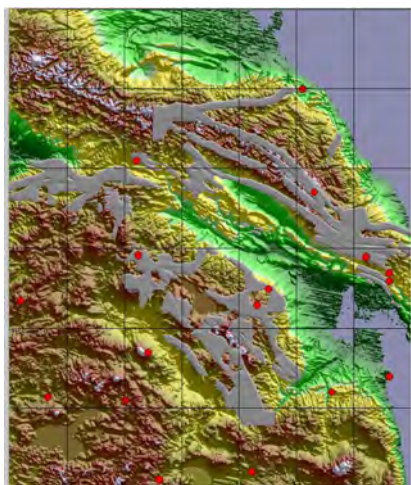
**Данные:** геологические и геофизические сеточные поля, разломы, классифицированные по геологической значимости, по возрасту и кинематике, каталог сильнейших землетрясений.

*Технологія.*

1. Анализ и выбор информативных признаков.



**Рис. 1.** Поле  $V$ . Размер кружка соответствует доле среднего ущерба



**Fig. 2.** Сейсмогенные зоны с  $M_{\max} > 6.5$ . Красные кружки – эпицентры с  $M_{\max} > 6.5$

Для Дербента средний ущерб равен 27%.

2. Вычисление сеточных полей признаков.

3. Индуктивный вывод решающего правила по методу предпочтения [Гитис и Ермаков, 2004].

*Выбранные признаки:*

$X_1$  – модуль градиента скоростей вертикальных постсарматских движений в условных единицах.

$X_2$  – полусумма расстояний до надвиговых и сдвиговых активных в кайнозойских разломов в [км].

$X_3$  – среднеквадратичные отклонения высот поверхности земли в скользящем круговом окне радиуса 10 км [м].

Правило: Если  $X_1 > 5.0$  И  $x_2 < 8.25$  И  $x_3 > 290$

ИЛИ  $x_1 > 2.0$  И  $x_2 < 9.15$  И  $x_3 > 383$

ИЛИ  $x_1 > 18.5$  И  $x_2 < 9$  И  $x_3 > 186$ ,

ТО возможны очаги с  $M_{\max} > 6.5$ .

**5. ГИС ГеоТайм.** ГИС ГеоТайм GIS GeoTime выполнена в архитектуре Java Web Start. ГИС может интегрировать распределенные данные и программные модули, обеспечивает обработку больших объемов данных, поддерживает парал-

лельные вычисления на многопроцессорных/многоядерных компьютерах (<http://www.geo.iitp.ru/geotime/index.htm>). ГИС предназначена для анализа пространственно-временных процессов.

Отличие технологии пространственно-временного анализа с помощью ГеоТайм 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, а также в наличии специализированных предметно-ориентированных методов, алгоритмов и программных средств для решения задач сейсмологии и геодинамики.

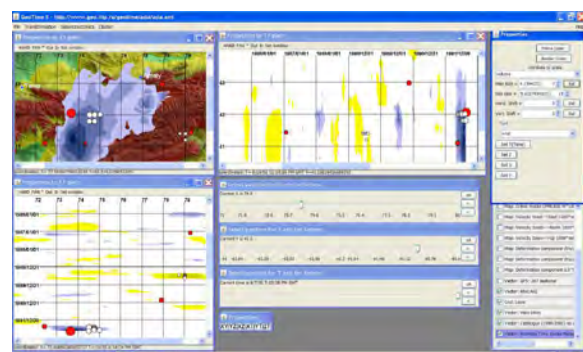
## 6. Примеры применения ГИС ГеоТайм.

### 6.1. Визуальное исследование временных рядов

Визуальный анализ поддерживается интерактивной анимационной графикой. На Рис. 3 показан фрагмент визуального анализа связи между динамикой полей деформаций поверхности земли и сейсмичностью для Научной станции РАН на Тянь-Шане [Соболев и др. 2010]. Треугольниками обозначены станции GPS, желтые кружки – эпицентры землетрясений с 1994 по 2008 г. ГИС ГеоТайм поддерживает синхронную анимацию нескольких процессов.



**Рис. 3.** Окно ГИС ГеоТайм с фрагментом визуального анализа последовательностей GPS мониторинга и каталога землетрясений



**Рис. 4.** Окно ГеоТайм с образом предвестника Суусамырского землетрясения, которое показано большим красным кружком

Фрагмент анализа относится к 3D полю меридиональной компоненты скорости по данным GPS, векторному полю скоростей и эпицентрам землетрясений на годовом интервале наблюдений. В проекции XY (широта-долгота) показан срез 3D меридиональной компоненты скорости по данным GPS для момента  $T=12.04.2002$ . В проекции XT показан срез этого же 3D поля, соответствующий широте  $Y=42.76^\circ$ .

Три графика в правой части Рис. 3: вверху – временная последовательность меридиональной координаты для станции  $iv07$ , в середине – сглаженный временной ряд сеточного 3D поля этой же компоненты вблизи станции  $iv07$ , внизу – временной ряд 3D поля меридиональной компоненты скорости в этой же точке.

#### 6.2. Обнаружение пространственно временных явлений.

**Задача:** обнаружение предвестников Суусамырского землетрясения ( $K=17$ ,  $\lambda=73.63^\circ E$ ,  $\varphi=42.06^\circ N$ , 19.08.1992).

**Данные:** каталог землетрясений: 16329 событий, 1980 – 2001 гг.

**Технология:**

1. Вычисление плотности эпицентров землетрясений.

2. Вычисление 3D поля аномалий с помощью методов проверки статистических гипотез.

3. Оценивание Гауссианы, которая находит и аппроксимирует аномальные области. Оцениваемыми параметрами являются степень уверенности в том, что на соответствующем временном срезе присутствует одна аномалия, которая достаточно хорошо аппроксимируется гауссианой, координаты центра гауссианы, декремент затухания гауссианы, амплитуда и объем гауссианы.

На рис. 4 показан результат анализа аномалий в проекциях на плоскости XY, TY и XT.

Проекция на плоскость XY показывает сильную отрицательную аномалию за 21 день до землетрясения, что соответствует уменьшению плотности эпицентров во времени. Землетрясения с  $M \geq 5.5$  показаны на всех проекциях красными кружками. Круг наибольшего размера соответствует Суусамырскому землетрясению. Белые кружки показывают координаты гауссианов, которые аппроксимируют аномалии с достаточно высокой точностью. На ри-

сунке можно видеть две такие аномалии. Малые белые кружки соответствуют положительной аномалии, которая не связана с сильным землетрясением. Большие белые кружки соответствуют отрицательной аномалии, которая предшествует Суусамырскому землетрясению. Данный подход может быть использован для прогноза землетрясений.

**7. Заключение.** Мы кратко рассмотрели две сетевые технологии, которые разработаны для научных исследований в науках о Земле. Основными характеристиками этих технологий являются: (1) сетевой доступ к географическим данным, которые могут быть распределены на удаленных серверах и на компьютере пользователя; (2) современные методы извлечения из пространственных и пространственно-временных данных существенной информации и знания; (3) высокая интерактивность и наглядность анализа, которые увеличивают эффективность принятия решений.

Окна XY, XT, YT представляют проекции срезов 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  $X=74^\circ$ .

Работа поддержана грантами РФФИ 09-07-12077-офи\_м и 10-07-00204-а.

#### Литература

- Аптикаев Ф.Ф., Гитис В.Г., Кофф Г.Л., Фролова Н.И. Оценка сейсмической опасности и сейсмического риска (пособие для должностных лиц). // М. БСТС Центр, 1997. 53 с.
- Гитис, Ермаков, 2004. Основы пространственно-временного прогнозирования в геоинформатике // М., ФИЗМАТЛИТ, 2004. 256 С.
- 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.

### МЕРЕЖЕВІ ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕНЬ У НАУКАХ ПРО ЗЕМЛЮ

V.G. Gitis

Розглядаються дві мережеві геоінформаційні технології. Їх основні характеристики: (1) мережевий доступ до даних, розподілених на віддалених серверах і ПК користувача, (2) сучасні методи добування знання з просторових і просторово-часових даних, (3) висока інтерактивність і наочність аналізу. Даються приклади вирішення дослідницьких завдань.

**Ключові слова:** геоінформатика; мережеві ГІС; аналіз просторових і просторово-часових даних.

### WEB-GIS TECHNOLOGIES FOR EARTH SCIENCE RESEARCH

V.G. Gitis

Two network geoinformation technologies are considered. Their common major features are (1) network access to geographical information, which may be distributed over network servers or reside on the user PC, (2) modern methods of knowledge acquisition from spatial and spatio-temporal data, (3) high interactivity and clarity of visualization boosting the decision-making efficiency. Case studies of GIS analysis are presented.

**Key words:** geoinformation technolog; spatial and ispatio-temporal data analysis; web-GIS.