

# Визуализация динамики развития карстов в системе наблюдения за карстовыми процессами

© Р.В. Шарапов

Муромский институт (филиал) ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»,  
Муром  
info@vanta.ru

## Аннотация

В работе рассматриваются вопросы привязки данных наблюдений за развитием карстовых процессов к геоинформационной системе и осуществления их визуализации. Приводятся основные особенности развития карстовых процессов, влияющие на их хранение и отображение на картах. Рассматриваются вопросы организации визуализации динамики развития карстовых процессов на основе ретроспективных (временных) карт. Описываются практические вопросы привязки объектов в карте, передачи их геометрии, определения временных границ существования объектов и т.д. Приводятся результаты практической реализации системы визуализации на примере данных исследований территории, выделенной под строительство Нижегородской АЭС в д. Монаково.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 13-07-97510.*

## 1 Введение

В ходе реализации системы наблюдения за карстовыми процессами в районе предполагаемого строительства Нижегородской АЭС в д. Монаково возникла задача осуществления привязки данных о карстовых формах к картографической основе и их визуализации [1, 2].

С появлением геоинформационных систем (ГИС) возникло новое направление – компьютерная картография, которая стала активно применяться в различных сферах деятельности. В отличие от бумажных карт, использование компьютерной техники позволяет отбирать нужную пользователям информацию и производить её визуализацию в

удобной для пользователя форме. При этом может меняться степень детализации – включаться или отключаться показ тех или иных слоёв карты (рельеф, водные объекты, дорожная сеть, строения и т.д.), проводится генерализация при изменении масштаба. Кроме того, ГИС позволяют осуществлять интерактивное отображение информации с поддержкой взаимодействия с объектами на карте (например, получение информации о выбранном объекте). Всё это подвигло нас к осуществлению привязки системы наблюдения за карстовыми процессами к ГИС.

На начальном этапе реализации проекта сложностей практически не возникло – вся информация о существующих проявлениях карстовых процессов (провалы, воронки) была привязана к карте местности на основе координат (потребовалось провести повторную съёмку на местности координат ряда карстовых форм из-за их недостаточной точности). Но, в дальнейшем возникла необходимость внесения информации о динамике развития карстовых процессов. Так, в начале 2014 года образовался новый провал в с. Чудь, который поглотил уже существовавшую карстовую воронку. Возникла проблема: что делать с информацией о воронке – привязать её к провалу, удалить или оставить без изменения? Аналогичная проблема возникла после заполнения водой нескольких карстовых форм и образования на их месте небольшого водоёма.

Конечно, для отражения текущего состояния достаточно хранить информацию о имеющихся в настоящий момент проявлениях карста. В этом случае нанесение на карту предыдущих состояний не требуется. С другой стороны, для получения полной картины о развитии карстовых процессов необходимо иметь данные об их динамике. При этом возникает новая задача: осуществлять визуализацию не только текущего состояния карстовых процессов, но и предыдущих состояний (получать карты для заданных временных отметок, например, год назад, 10 лет назад и т.д.). Другими словами, возникает необходимость составления ретроспективных (временных) карт.

---

Труды 16-й Всероссийской научной конференции «Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции» — RCDL-2014, Дубна, Россия, 13–16 октября 2014 г.

Цель работы – рассмотреть практические вопросы организации привязки данных системы наблюдения за карстовыми процессами к геоинформационной системе для осуществления визуализации их развития.

## 2 Особенности наблюдений за карстовыми процессами

В системе наблюдения за карстовыми процессами для каждой карстовой формы существует одно или несколько описаний (наблюдений). Каждое наблюдение может давать как полное описание объекта, так и частичное – только важные характеристики или изменения. По ряду наблюдений можно проследить протекание карстовых процессов и изменения (эволюцию) карстовых форм.

Рассмотрим пример эволюции карстовых форм (см. рис. 1). В начальный момент времени имеется одна карстовая воронка № 122 (рис. 1, а), расположенная между жилым домом и баней. В ходе развития карстовых процессов образуется новая карстовая форма № 633 (провал), затрагивающая имеющийся объект № 3396 (баню) и вызывающая его частичное разрушение (рис. 1, б). В ходе дальнейшего опускания поверхности объекты №122 и №633 объединяются в один объект сложной формы №694, который частично заполняется водой (рис. 1, в). Как можно заметить, в последнем случае произошло изменение и самой картографической основы – исчез (был разобран) объект № 3396 (баня).

Рассмотрим особенности развития карстовых процессов, влияющие на их визуализацию в ГИС:

- форма и состояние объектов наблюдения (карстовых форм) может изменяться;

- положение карстовых форм в пространстве остаётся постоянным (за исключением изменения их геометрии);

- существующие карстовые формы могут заменяться новыми объектами (например, объединение нескольких воронок и провалов в единый объект);

- частота изменения состояния и появления новых объектов невелика;

- картографическая основа может изменяться в результате воздействия природных явлений и деятельности человека.

## 3 Требования к ретроспективным картам

Рассмотрим основные требования, которым должна удовлетворять система визуализации данных наблюдений о развитии карстовых процессов:

- система должна позволять отражать изменения территории во времени;

- система должна позволять отражать изменения состояния и геометрии объектов;

- нет необходимости отображать перемещения объектов в пространстве;

- частота обновления информации соответствует частоте проведения наблюдений (чаще всего раз в год, для особо динамичных явлений – вплоть до нескольких раз в месяц);

- картографическая основа должна периодически обновляться для актуализации информации о территории;

- задача визуализации информации о развитии карстовых процессов должна являться дополнением к уже существующей системе наблюдения и анализа.

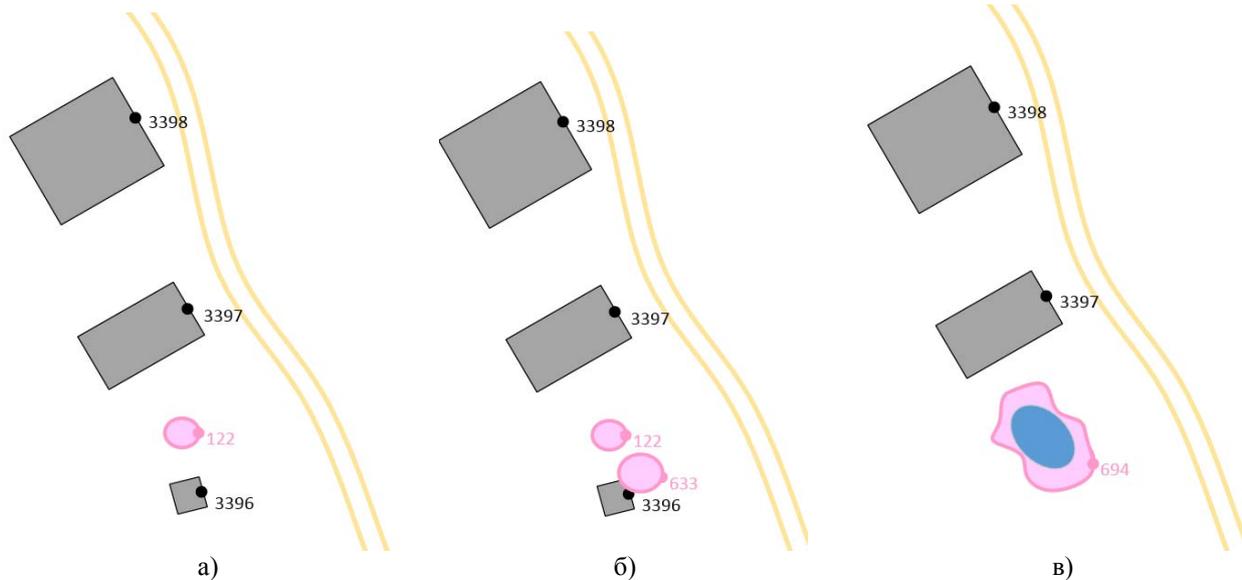


Рис. 1. Пример эволюции карстовых форм на карте: а – одна карстовая форма; б – появление второй карстовой формы с частичным разрушением объекта; в – объединение карстовых форм в одну с частичным заполнением водой

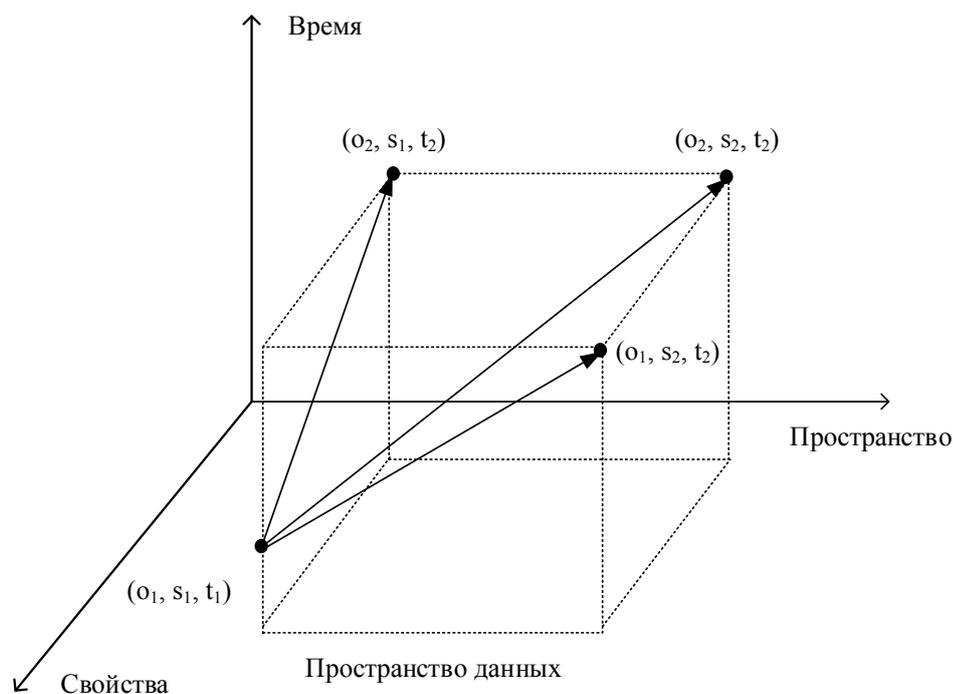


Рис. 2. Трехмерное пространство данных

Так как задача визуализации развития карстовых процессов является дополнением к уже существующей системе наблюдения и анализа, предпочтение в организации системы хранения должно отдаваться именно удобству работы с данными наблюдений, а не простоте их использованию совместно с ГИС.

#### 4 Существующие подходы к созданию ретроспективных карт

Существует два основных подхода для создания ретроспективных (пространственно-временных) карт:

- создание набора пространственно-временных карт, отражающих состояние объектов исследования в конкретные периоды времени (например, раз в месяц, раз в год и т.д.),
- генерирование карт автоматически на основе данных наблюдений (в том числе с анимацией динамики изменений).

Первый вариант является достаточно трудоёмким, так как требует привлечения специалистов для создания очередной карты. За счёт этого, процесс создания карт является модулируемым и контролируется человеком для исключения ошибок. Кроме того, при составлении каждой новой карты есть возможность использовать обновленные картографические основы (карты территории).

Второй вариант не требует привлечения специалистов для генерирования карты – оно происходит в автоматическом режиме. Как результат – могут появляться ошибки. Тем не менее,

вариант с автоматической генерацией карт является более привлекательным.

В настоящее время существует достаточно большое количество работ, посвященных созданию и использованию пространственно-временных карт. Такие карты используются для мониторинга движения транспорта, загрузки дорог, отображения текущего состояния и прогнозов погоды, распространения загрязнений и т.д. Существуют решения для отображения динамики изменения тех или иных процессов, в том числе и в реальном масштабе времени. Для этих целей используются специализированные пространственно-временные (Spatio-Temporal GIS) и ретроспективные (Temporal GIS) ГИС.

Достаточно подробно вопросы представления ретроспективной (временной) информации в ГИС рассмотрены в [3]. Описывается модель времени в картографии и варианты представления пространственно-временных данных с помощью моделей: пространственно-временного куба, последовательных снимков, базы состояний с изменениями и пространственно-временной комбинации.

В [4] рассмотрены основные модели для реализации ретроспективных ГИС: модели, основанные на положении объектов, на объектах или их свойствах, на времени, событийные модели, процессно-ориентированные модели, причинные модели.

Каждый объект можно описать в виде тройки  $(o_i, s_i, t_i)$ , где  $o_i$  – свойства объекта,  $s_i$  – пространственное положение объекта,  $t_i$  – временная отметка, когда  $o_i$  существует в  $s_i$  (см. рис. 2) [4].

Модели, основанные на положении объектов, рассматривают перемещение по оси «Пространство». В этом случае модель представляет собой набор параллельных плоскостей «Свойства-Время»  $\{(o, s_j, t)\}$ , где  $1 \leq j \leq n$  [3].

Модели, основанные на объектах или их свойствах рассматривают перемещение по оси «Свойства», и представляют собой набор параллельных плоскостей «Пространство-Время»  $\{(o_i, s, t)\}$ , где  $1 \leq i \leq m$  [5–7].

В моделях, основанных на времени, делаются временные снимки реальности (набор плоскостей «Пространство-Свойства»)  $\{(o, s, t_k)\}$ , где  $1 \leq k \leq l$  [4].

В событийных моделях, переход между состояниями представляется событиями. События можно представить как линии, соединяющие два состояния в пространстве данных [8, 9].

В процессно-ориентированных моделях рассматриваются протекающие процессы, например, изменение одного объекта, функциональная связь между объектами или изменение пространственной структуры, связанной с некоторыми объектами [10].

Вопросам моделирования и управления пространственно-временными данными посвящены работы [11, 12].

Таким образом, существует ряд решений в области представления пространственно-временной (ретроспективной) информации в ГИС. Использование того или иного решения во многом связано с поставленной в каждом конкретном случае задачей.

## 5 Представление данных для визуализации

### 5.1 Модель данных

В соответствии с поставленной задачей, в нашем случае необходимо отображение только временной информации, т.е. создание ретроспективных карт. По этой причине основной информацией для визуализации будут объекты (карстовые формы) и их состояния (геометрия, наличие воды и т.д.).

### 5.2 Пространственная привязка объекта

В качестве основы для пространственной привязки карстовых форм к картографической основе используются GPS координаты объектов. Так как объекты не перемещаются в пространстве, их координаты по оси «Пространство» остаются постоянными.

### 5.3 Передача геометрии объекта

Проявления карстовых процессов (воронки, провалы) имеют замкнутую, чаще всего округлую, форму. По этой причине на карте их можно представить либо в виде эллипсов, либо в виде замкнутых полилиний. В первом случае достаточно хранить координаты центра эллипса и радиусы большой и малой полуосей. Дополнительно может указываться угол поворота осей эллипса. Во втором

случае необходимо хранение последовательности пар координат, задающих контуры объекта. При этом последняя пара координат должна совпадать с первой.

### 5.4 Оценка времени присутствия объекта

Так как карстовые формы могут появляться в разное время, возникает задача определения временных интервалов, когда та или иная форма будет отображаться на карте (ось «Время»). Для определения начального интервала может использоваться информация о времени появления карстовой формы или данные первого её описания. Время появления не всегда может быть определено: карстовые воронки образуются медленно, а старые провалы могут быть не описаны надлежащим образом. В этом случае в качестве времени и используется время первого описания объекта.

Верхняя граница времени отображения объекта устанавливается только в том случае, если в качестве статуса объекта указано, что он перестал существовать (перешел в другой объект или был устранен). В этом случае дата последнего описания (при которой и был изменен статус объекта) и читается верхней границей времени отображения.

### 5.5 Состояние объекта

Для определения состояния карстовых форм (ось «Состояния») используются данные наблюдений. Конкретные характеристики объектов выбираются из наборов данных, представленных в каждом наблюдении. Карстовый объект может менять свое состояние. Например, провалы могут заполняться водой, заболачиваться или высыхать.

Так как наблюдения могут быть неполными и часто описывают только те или иные изменения, для выявления смены состояний необходимо проводить анализ не только текущего, но и предыдущих наблюдений объектов. Состояние  $s_i$  считается изменившимся, если  $s_i \neq s_j$ , где  $s_j \neq 0$  (имеет установленное значение) и  $i > j$ . Так как не все состояния могут описываться при наблюдениях, принимается набор состояний по умолчанию (например, отсутствие воды в карстовой форме, отсутствие растительности и т.д.).

### 5.6 Статус объекта

В результате развития карстово-суффозных процессов, объекты могут объединяться друг с другом. При активной хозяйственной деятельности карстовые формы могут исчезать (например, засыпание воронок при земляных работах). По этой причине, необходимо введение статуса объекта. Статус по умолчанию для любого объекта – «объект существует». При объединении с другими объектами устанавливается статус «объект объединён», при преобразовании объекта (например, превращении провала в водоём), устанавливается статус «объект преобразован». При исчезновении объекта устанавливается статус «объект не существует».

## 5.7 Изменение картографической основы

В связи с тем, что территория может претерпевать изменения, картографическая основа требует обновления. Для упрощения этого процесса предлагается использовать несколько карт, описывающих территорию на тот или иной период времени. При визуализации для показа выбирается та карта, которая ближе всего к выбранной пользователем временной отметке.

## 6 Практическая реализация

На основе описанных подходов был реализован модуль отображения данных наблюдений за карстовыми процессами в ГИС. По умолчанию происходит визуализация актуального состояния карты с карстовыми формами, подтвержденными в ходе последних наблюдений.

Пользователь может выбрать нужную временную отметку и модуль производит расчет существования объектов. Все объекты, время присутствия (существования) которых пересекается с выбранной временной отметкой, автоматически отрисовываются в отдельных динамических слоях (карстовые провалы, карстовые воронки, западины, водные объекты, и т.д.).

## 7 Заключение

Таким образом, предложенные решения позволили осуществить привязку данных системы наблюдения за карстовыми процессами к геоинформационной системе и решить проблему визуализации их развития. В связи с тем, что на отображение карстовых форм на карте осуществляется на заданную временную отметку в автоматическом режиме по данным наблюдений, появилась возможность наблюдать динамику развития карстовых процессов в заданных пользователем временных рамках.

## Литература

- [1] Шарапов Р.В., Кузичкин О.Р. Организация хранения разнородных данных в системе наблюдения за карстовыми процессами // Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции: XV Всероссийская научная конференция «RCDL'2013». Ярославль, 14–17 октября 2013 г.: труды конференции – Ярославль: ЯрГУ, 2013 – С. 417–418.
- [2] Sharapov R.V., Kuzichkin O.R. Geodynamic monitoring in area of nuclear power plant // Applied Mechanics and Materials. – 2014. – Vol. 492. – P. 556–560.
- [3] Langran G., Time in Geographic Information Systems. – London: Taylor and Francis, 1992. – 191 p.
- [4] El-Geresy B.A., Abdelmoty A.I.; Jones C.B. Spatiotemporal geographic information systems: a

causal perspective // Advances in Databases and Information Systems. – Slovakia: Bratislava, 2002. – P. 191–203.

- [5] Becker L., Voigtmann A., Hinrichs K.H. Temporal support for geo-data in object-oriented databases // 7th International Conference on Database and Expert Systems Applications DEXA'96, Zurich, Switzerland, September 9–13, 1996. – p.79–93.
- [6] Voigtmann A. An Object-Oriented Database Kernel for Spatio-Temporal Geo-Applications // Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Naturwissenschaften, 1997. – 260 p.
- [7] Ramachandran S., McLeod F., Dowers S. Modeling temporal changes in a GIS using an object-oriented approach // Proceeding of the 7<sup>th</sup> International Symposium on Spatial Data Handling, 1996. – Vol. 2. – P. 518–537.
- [8] Peuquet D.J., Duan N. An Event-Based Spatiotemporal Data Model (ESTDM) for temporal Analysis of Geographical Data // International Journal of Geographic Information Systems, 1995. – Vol. 9(1). – P. 7–24.
- [9] Claramunt C., Theriault M. Managing time in GIS: An event-oriented approach // Recent Advances on Temporal Databases. Springer Verlag, 1995.
- [10] Cheng T., Molenaar M. A process-oriented spatio-temporal data model to support physical environment modeling // Proceeding of the 8th International Symposium on Spatial Data Handling, 1998. – P. 418–429.
- [11] Wang X.Y., Zhou X.F., Lu S.L. Spatiotemporal data modelling and management: a survey // 36th International Conference on Technology of Object-Oriented Languages and Systems TOOLS-Asia, Oct 30 – Nov 4, 2000, Xi'an. – P. 202–211.
- [12] Worboys M.F. A model for spatio-temporal information // Proceedings of the Fifth International Symposium on Spatial Data Handling, Volume 2, Charleston, SC, 1992. – p. 602–611.

## Visualization of the Karst Development Dynamics in the Karst Processes Monitoring System

Ruslan V. Sharapov

In this paper we consider the linking of observation data of karst processes development to geographic information system and implementation of their visualization. The basic features of the karst process development that affect their storage and display on maps are given. The questions of organization of karst processes dynamics visualization on the basis of spatio-temporal maps are considered. Practical issues of linking the objects to the map, displaying of their geometry, determining temporal boundaries of existence of objects are described. The results of practical implementation of the visualization system on the example of studies of Nizhny Novgorod nuclear power plant construction area in Monakovo are presented.