

Метод визуализации геоинформативных данных: на примере референсных археологических объектов

О.А. Ульчицкий^{1,А}, Е.К. Булатова^{2,В}, Е.К. Подобреева^{3,А}, О.М. Веремей^{4,А}

^А ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия

^В ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия

¹ ORCID: 0000-0003-1065-3251, o.ulchitsky@magtu.ru

² ORCID: 0000-0003-4010-021X, bulatova_ek@bk.ru

³ ORCID: 0000-0002-7673-7266, mgnket@mail.ru

⁴ ORCID: 0000-0001-9738-9830, o.veremey@mail.ru

Аннотация

В статье раскрываются результаты междисциплинарного исследования, направленного на усовершенствование лабораторных методов, по сбору, анализу и синтезу геоданных, необходимых для расширения методологического аппарата по изучению и сохранению объектов культурного наследия на обширных территориях, с применением триангуляции в построении геосетки в привязке к спутниковым картам. Визуализация данных существенно дополняет натурные и инструментальные методы сбора информации, поиска, фиксации, систематизации и инвентаризации на труднодоступных для полевых способов, территориях исследования.

Фиксация и привязка опорных точек к геосетке методом триангуляции, обусловлены рядом преимуществ: точностью построения и фиксации, возможностями масштабирования сетки, алгоритмом триангуляции по наименьшей диагонали четырехугольника.

В результате назначения свойств модификаторов опорным точкам – референсным археологическим объектам, были сформированы слои межобъектных реберных связей, которые, при включении определенных свойств модификаторов отображались на геосетке в виде разноокрашенных ребер, фиксируя инварианты закономерностей этих связей.

В итоговом эксперименте получилась гибридная визуализация слоев по заданным свойствам модификаторов для реберных межобъектных связей на геосетке, что позволило получить наиболее объективные результаты в заданных условиях, чем методами построения линейных связей по координатам, при помощи трассировки и маршрутирования.

В качестве внедрения результатов апробации данного метода, разработан проект интерактивной масштабируемой картографической схемы с визуализацией данных по исследуемым объектам и их связям.

Ключевые слова: визуализация геоданных, триангуляция Делоне, параметрическое моделирование, картография, объекты культурного наследия, референсные объекты привязки.

1. Введение

В решении задач связанных со сбором и анализом археологических данных в лабораторных условиях, при поиске, фиксации, выявлении и инвентаризации новых, ранее не включенных в реестры объектов культурного наследия (ОКН), используются различные методы анализа и дешифровки, если брать во внимание проблему точной фикс-

сации объектов на спутниковых и топографических картах. Наряду с широко известными методами в картографии используются также вспомогательные или дополняющие методы, которые позволяют расширить возможности выявления и фиксации ОКН, а также возможности изучения выявленных объектов в лабораторных условиях.

Визуализация геоинформационных данных является существенно дополняющей инструментальные способы сопровождения научно-исследовательских работ в лабораторных условиях для геологии, археологии, аграрной отрасли и других областей, использующих геоаналитику и применение ГИС-технологии. При работе с инфографиками, аналитическими схемами геоданных, наиболее эффективен «разведочный анализ данных» (EDA¹) [4, С.19-58]. Методологический подход к визуализации: на примере фиксации опорных археологических объектов, по сути, использует EDA в совокупности с картографией и нацелен на получение конкретных результатов в ходе лабораторных экспериментов с извлечением параметрических показателей, для дальнейшего применения на практике [19, Р. 99-109].

В качестве инструментального обеспечения визуализации данных применяется полигональное построение высокоточной координатной сетки местоположения опорных координатных точек привязки, в нашем случае, референсных археологических объектов (далее, РАО).

Для первоначальной координации таких объектов применяется линейная триангуляция методом Делоне [12, С. 14-39] на спутниковых картах высокого разрешения, далее, создается жесткий полигональный каркас координационной сетки с возможностью отображения линейных связей, назначением параметров и свойств объектам. Такой метод дает широкие возможности применения для получения результатов в моделировании интерактивных схем на координационных спутниковых картах.

2. Методология исследования

В исследовании используется Гугл-карты, редактор геосеток, 2D графические редакторы. Для точной координации относительно РАО и локализации объектов на спутниковых картах, используется аэрофотосъемка разных лет, топографическая съемка.

Весь процесс состоит из последовательных этапов:

1 этап: первоначальный сбор информативных данных по РАО: аэрофотоснимки локализованных, спутниковые координаты, археологические карты с рельефом местности и пр. вспомогательные данные;

2 этап: получение данных со спутника;

3 этап: отстройка данных со спутника с послойным наложением аэрофотоснимков и топографических карт с координатами привязки РАО в масштабе 1:10000;

4 этап: локализация объектов на спутниковых картах в масштабе 1:500 - 1:1000 при помощи привязки координат и послойного наложения данных аэрофотоснимков и топографических карт, а также извлечение вспомогательных и дополнительных сведений по локализации РАО относительно близлежащих (опорных) населенных пунктов и ориентиров ландшафта местности;

5 этап: наложение полученных данных на геолокацию в М 1:10000 в графическом редакторе с применением функции масштабирования;

6 этап: импорт данных по заданным РАО в Gridder2D [15], построение триангуляционной сетки;

7 этап: фиксация полученных результатов при помощи отстройки триангуляционной сетки и привязки расстояний между РАО в метрической системе координат в М 1:10000;

8 этап: назначение параметров модификаторов РАО и назначение параметров реберным связям;

¹ Англ. «Exploratory data analysis».

9 этап: визуализация полученных данных в виде графических схем с использованием 2Д графических редакторов;

10 этап: обработка полученных результатов.

Стоит принять во внимание, что археологические данные могут с течением временем коррелироваться, их необходимо периодически обновлять. Опираясь на конкретные примеры для РАО, необходимо сделать выборку как для базовых координатных объектов.

Как пример практической реализации данного метода, рассматриваются площадки архитектурно-археологических комплексов расположенных на обширных территориях и значительном удалении друг от друга. Центральными объектами таких комплексов могут быть укрепленные поселения, крупные курганы или любые другие знаковые объекты. Нулевой координатной точкой привязки может быть назначен центр фиксации РАО.

Модель реберных связей РАО предлагается сформировать, используя ГИС-технологии [3] методом полигонального построения высокоточной координатной сетки местоположения опорных объектов с применением триангуляции Делоне [11] на спутниковых картах высокого разрешения. Необходимость применения такого метода обусловлена необходимостью определением кратчайших связей между объектами привязки, концентрации реберных связей в узлах, определяющих их количество, где выполняется базовое условие – триангуляция по наименьшей диагонали четырехугольника.

Этот метод позволяет проверить параметрические взаимосвязи узловых точек, сформировать относительно точную координационную сетку для всех локализованных на спутниковой карте объектов с незначительной погрешностью в координатах привязки с отклонением до 3-5 метров от спутниковых координат. В процессе построения проверяется условие: имеют ли между собой реберные связи объекты определенных типов.

В качестве рабочего пространства используется интерфейс Гугл-карты (спутниковые карты высокого разрешения) (рис. 1.1). Для работы с геосетками используется программная утилита ГИС GeoLink 3.14.0013 [5]. Для работы с РАО используется модифицированная сетка, построенная про помощи утилиты для двумерной триангуляции сложных двумерных областей Gridder2D [10] Смоделированная сетка – картограмма позволяет визуализировать содержимое картограммы на фоне реальной географической ситуации с привязкой к спутниковым картам. Таким образом, картограмма отображает локализацию РАО в условиях рельефа местности на основе картографических данных - изолиний, отметок поверхности земли и отметок урезом рек (см. рис. 5). Детализация исходных картографических данных позволяет формировать и группировать слои отображающие типоморфологию и изометрические межобъектные связи путем интерполяции РАО. Картограммы содержат как результаты обработки картографической информации, так и исходные данные. Обработка картографических изображений осуществляется с применением 2Д редакторов: CorelDraw 2017 Academic Edition, Д-504-18 от 25.04.2018 [18] и Adobe Photoshop CS 5 Academic Edition, К-113-11 от 11.04.2011 [16].

В процессе лабораторных работ с целью точной фиксации точек – объектов на спутниковой карте высокого разрешения, как вспомогательное средство, использовалась аэрофотосъемка разных лет [9; 14. С. 116–121], в частных случаях, использовались картографические схемы дешифрованных аэрофотоснимков и материалы археологического атласа [1; 17, Р. 199-219], археологические данные полевых и лабораторных археологических исследований [6, С. 5-17].



Рис. 1.1. Фрагмент территории для исследования – снимок со спутниковой карты высокого разрешения



Рис. 1.2. Триангуляция локализованных опорных точек (РАО) на снимке со спутниковой карты

3. Алгоритм построения линейных связей

Используемый метод включает следующий алгоритм построения геосетки локализации РАО (рис. 1.2):

- 1) сбор данных по РАО: аэрофотоснимки, спутниковые координаты, археологические карты с рельефом местности и пр. вспомогательные данные;
- 2) получение данных со спутниковой карты в масштабе 1:20000;
- 3) перевод снимков со спутниковых карт в масштаб 1:10000;
- 4) локализация объектов на спутниковых данных в масштабе 1:500 - 1:1000 при помощи наложения слоев информативных данных и анализа имеющейся базы аэрофотоснимков, координат, топографических карт, фиксация объектов привязки относительно обозначенных на картах населенных пунктов и природно-ландшафтных ориентиров;
- 5) масштабирование полученных данных;
- 6) запуск алгоритма триангуляции опорных точек с заданными параметрами: с делением на слои, группы, подгруппы связей между РАО;
- 7) фиксация полученных результатов построения триангуляционной сетки и фиксация расстояний между РАО;
- 8) анализ и сбор полученных данных с занесением их в параметрические таблицы.

Разработка данного метода построения линейных связей с привязкой к РАО, позволила получить более точные результаты на основе опорных точек привязки, чем базовый метод построения по спутниковым координатам.

В качестве примера подобной триангуляционной схемы можно привести пример триангуляции, построенной на местоположениях всех городов России (рис. 2).

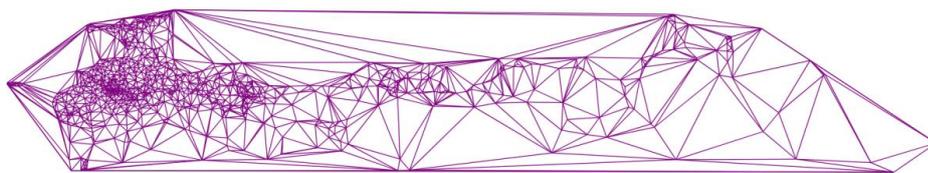


Рис. 2. Пример триангуляции, построенной на местоположениях всех городов России (опорными точками являются современные города РФ) [2].

4. Апробация метода визуализации геоданных

За основу участка построения сетки взят фрагмент Гугл-карты – территория локализации укрепленных поселений бронзового века на приграничных территориях: Юг Челябинской области, восточные границы республики Башкортостан, северные границы Оренбургской области, на который были предварительно нанесены опорные точки (места расположения руин укрепленных поселений) по заданному алгоритму. Опорным объектам назначаются модификаторы.

В результате проведен анализ и построена схема, объединенная по линейным параметрам, связям и типоморфологическим характеристикам РАО (рис.3.3).

Характеристики РАО назначаются узловым точкам триангуляционной сетки и состоят из двух модификаторов:

- модификатор морфологических свойств объекта (ММСО), присваивается определенному виду объекта: ММСО(1) – 1 вид, ММСО(2) – 2 вид, ММСО(3) – 3 вид, ММСО(1...3) – неопределенный;

- модификатор типологических свойств объекта (МТСО), присваивается определенному типоразмеру объекта: МТСО(1) - крупный, МТСО(2) - средний, МТСО(3) - малый, МТСО(1...3) – неопределенный.

Согласно ранее проведенных исследованиями по типоморфологии РАО, задействованных в лабораторных работах, всего выделено 10 морфотипов, которые сочетают типовые и видовые параметры модификаторов: ММСО и МТСО. В соответствии с количеством выявленных морфотипов будет выделено столько же слоев линейно-параметрических связей РАО. На рисунке 3.3 показано наложение 4-х слоев ребер триангуляционной сетки, которые визуализируют цепочки линейных связей.

Линейные параметры и связи РАО – назначаются реберным связям триангуляционной сетки по наименьшей диагонали прямоугольника и визуализируются средствами цветокодирования в модели СМΥК (Cyan, Magenta, Yellow & Key)².

Стоит добавить, что количество РАО, привязанных к линейным параметрическим связям, может варьироваться или уточняться вследствие дальнейших исследований и лабораторных экспериментов, с включением новых или уточнением параметров неопределенных опорных точек.

Неопределенные ММСО и МТСО могут включаться, так и исключаться в линейные цепочки РАО «вручную» или автоматизировано. Алгоритм включения или исключения неопределенных РАО задается в зависимости от поставленных в лабораторных работах задач. В данных работах по апробации метода визуализации геоданных, мы не прорабатывали алгоритмы для *неопределенных* РАО, а добавляли либо исключали их из слоев триангуляционной сетки в «ручном режиме» с учетом тех или иных ММСО и МТСО.

Проработка и включение алгоритмов слоев триангуляционной сетки неопределенных РАО в автоматическом режиме, требует дальнейшей разработки.

Далее, между точками привязки выстраиваются реберные связи, которым в свойствах модификаторов присваивается свой цвет, таким образом, визуализируются линейные связи между схожими и идентичными ММСО и МТСО. Определенным цветом визуализируются межобъектные реберные связи РАО в системе триангуляционной сетки с включением и исключением дополнительных параметров привязки, в зависимости от поставленных задач.

На рисунке 3.1 в эксперименте №1 визуализированы слои реберных связей, соблюдающие условия привязки РАО без учета ММСО и МТСО, выстраивающие цепочки непрерывных линий вдоль речных русел.

² В переводе с англ. - голубой, пурпурный, желтый и ключевой (черный) [13].

На рисунке 3.2. в эксперименте №2 показаны результаты, которые фиксируют реберные связи при условии привязки РАО по аналогичным или схожим ММСО и МТСО, без учета расположения объектов относительно урезов рек.

На рисунке 3.3 показаны результаты объединения результатов экспериментов №1 и №2, фактически, в результате этого мы получили гибридизацию (комбинацию) слоев по всем заданным параметрам межобъектных реберных связей РАО на геосетке. В результате комбинирования слоев, корреляция в визуализации цепочек реберных связей РАО, обусловлена базовым условием – триангуляция по наименьшей диагонали четырехугольника: программа выбирает путь наименьшей диагонали и визуализирует ребра с наименьшим расстоянием между РАО, включая заданные параметры схожести ММСО и МТСО и расположение из вдоль речных русел. В итоговой визуализации на рис. 2.3. мы наблюдаем цепочки линейных связей между РАО с аналогичными или схожими характеристиками.

В результате лабораторного эксперимента выявлены определенные закономерности во взаимосвязях РАО со схожими характеристиками, с учетом свойств модификаторов реберных связей в заданных условиях.

Таким образом, в зависимости от заданных условий, комбинация визуализации реберных связей меняется, отображая информативные данные по формированию систем линейных реберных связей между точками привязки на масштабируемых спутниковых картах.

Пример наглядно демонстрирующий систему реберных связей между опорными объектами и линейными связями с однотипными модификаторами, что позволяет сформулировать выводы, относительно модели расселения в определенных границах территории и периода развития, динамики формирования, функционирования и развития АО на этой территории, но, в данном случае, наиболее важным является определение координационного вектора линейных связей РАО и динамика интервалов между ними. Данные показатели позволяют смоделировать координацию местоположения возможных опорных точек в построенной модели реберных связей. Что в дальнейшем может способствовать локализации неизвестных РАО или определением/ уточнением параметров неопределенных опорных точек в системе реберных связей. Предложенный метод позволяет спрогнозировать местоположения новых, ранее не известных объектов, *планиграфия* которых, может быть полностью нивелирована с природным ландшафтом в процессе сельскохозяйственной деятельности либо другого природного или техногенного влияния.

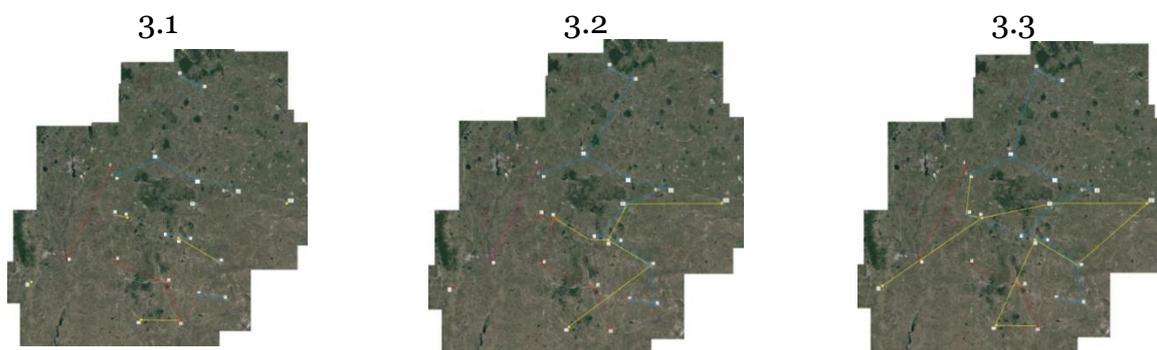


Рисунок 3. Процесс визуализации реберных связей между типоморфологическими группами РАО на примере укрепленных поселений Южного Урала эпохи бронзы
3.1. Визуализация реберных связей между РАО в системе речных русел без учета модификаторов
3.2. Визуализация реберных связей между РАО с учетом только модификаторов
3.3. Гибридизация результатов визуализации реберных связей РАО по всем заданным условиям и параметрам

На рисунке 3 красными, розовыми и желтыми линиями обозначаются связи укрепленных поселений «синташтинской группы», различными морфотипов, а голубой линией показаны линейные связи укрепленных поселений «петровской группы», предположительно, более позднего периода функционирования. Заметное отличие между локализацией РАО в этих группах – это их концентрация на определенной территории и отрезки дистанций между объектами.

5. Результаты внедрения

Как уже было описано в апробации, одним из основных практических результатов исследования - это возможности применения данного метода научной визуализации в получении объективных результатов в лабораторных условиях исследования систем археологических объектов на обширной территории Южного Урала, а именно территории на которой расположены руины или следы укрепленных поселений бронзового века.

В развитии гипотезы исследования Южно-Уральской системы формирования укрепленных поселений остаются определенные пробелы в обосновании доказательства целостности всех элементов системы, а также в определении связей, факторов, процессов, и пр. аспектов формирования данной системы расселения. [7, С. 7-29].

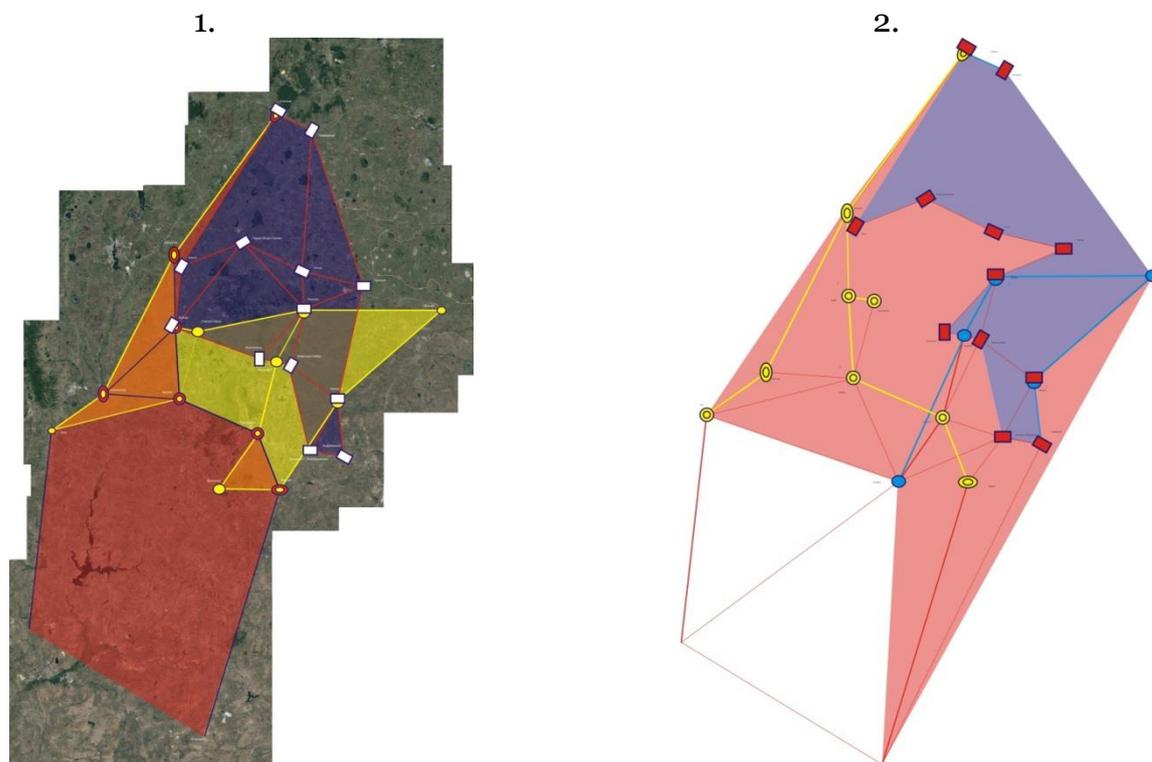


Рис. 4. Визуализация локализованных областей по типоморфологическим характеристикам РАО

4.1. Визуализация областей по 3-м слоям РАО с наложением на спутниковую карту

4.2. Визуализация областей по границам одного из слоев РАО в виде схемы

Применение данного метода было необходимо для оценки и сравнения, полученных данные с данными археологии. Необходимо было установить возможные связи с подобными системами расселения на сопредельных и не сопредельных территориях, либо обнаружить возможную причину отсутствия связей, в случае отсутствия таковых.

На рисунке 4 визуализация слоев реберных связей по триангуляционной сетке дополнена: цветом выделены граничащие области реберных связей, полученные в ходе экспериментов. На данных схемах вырисовываются линейные связи локальных групп

укрепленных поселений, формирующие территориальные локации областей по характеристикам РАО.

Результатом внедрения стал проект интерактивной схемы с расширенными возможностями параметрических и информативных данных по РАО с возможностью наложения этой схемы на масштабируемую спутниковую карту (рис. 5). Сама программная утилита «СКРАО-1.0» («Сетка картограммы референсных археологических объектов. Версия 1.0»), предназначенная для привязки к спутниковым картам, на момент написания статьи, находится в стадии разработки.

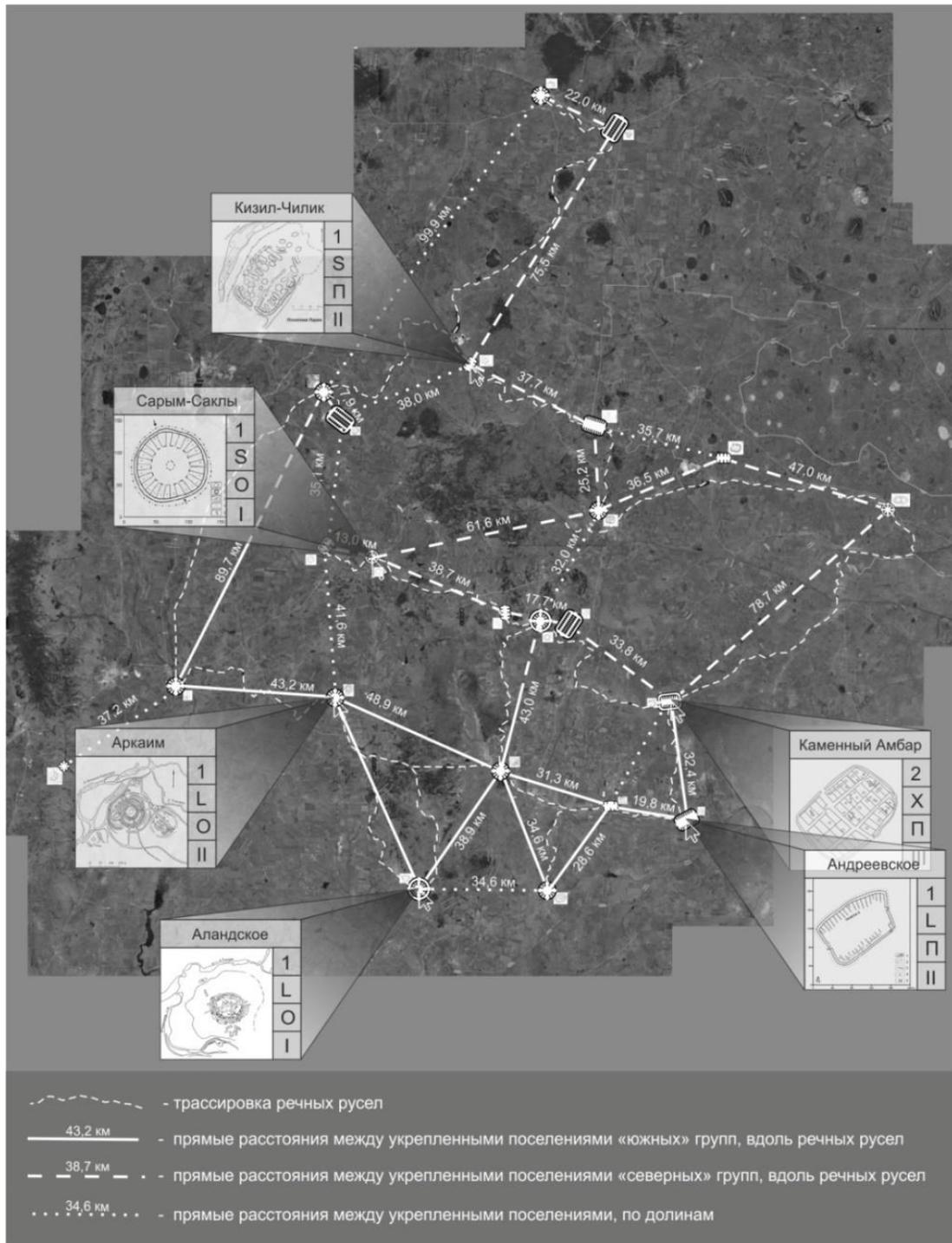


Рис. 5. Результат внедрения: проект интерактивной схемы на спутниковой карте

6. Выводы

На данном этапе работы апробирован метод, позволяющий расширить возможности исследований в области визуализации геоданных на примере фиксации археологических объектов на спутниковых картах.

С помощью этого метода наиболее точно определяются и фиксируются параметры расстояния линейных связей между объектами привязки – РАО, и определяется количество и параметры реберных связей.

Предложенный метод позволяет:

- проверить взаимосвязи узловых точек;
- определить линейно-типологические связи территориального каркаса;
- наиболее точно установить кратчайшие связи между РАО;
- создать масштабируемую полигональную сетку привязки к спутниковым картам;
- спрогнозировать местоположение РАО в системе привязки к опорным точкам.

Графическое отображение информации на интерактивной схеме дает исчерпывающий объем визуальных информативных данных «единого окна» с расширением возможностей визуализации информации об объектах привязки и навигационным данным.

Впервые данный метод применяется для аналитики и исследования археологических комплексов и систем. Возможности предложенного метода, позволяют широко использовать разработанные схемы в спутниковой навигации и специализированных приложениях для работы с геоданными. Приведенный в статье подход, может быть применим к любым областям и сферам деятельности для локализации статичных объектов на земной поверхности, например, в области архитектуры и градостроительства, исторической геологии, вулканологии, геологии полезных ископаемых, некоторых областях географии и пр.

Список литературы

1. Адрианов Б.В. Дешифрирование аэрофотоснимков при изучении древних оросительных систем / Б.В. Адрианов // Археология и естественные науки: сб. тр. – 1965. С. 261-267.
2. Алгоритм триангуляции Делоне методом заметающей прямой. - URL: github.com/Vemmy124/Delaunay-Triangulation-Algorithm
3. Афанасьев Г.Е. Основные направления применения ГИС- и ДЗ-технологий в археологии / Г.Е. Афанасьев // Археология и информатика. [Электронный ресурс] – URL: <https://www.archaeolog.ru/media/periodicals/agis/AGIS-1/Afanasjev/page1.html>
4. Брюс П. Разведочный анализ данных / П. Брюс, Э. Брюс // Практическая статистика для специалистов Data Science. – СПб: БХВ-Петербург, 2018. – 304 с.
5. ГИС GeoLink 3.14.0013. - URL: <http://www.geolink-consulting.ru/products/gis/download.html>
6. Епимахов А.В. Мультидисциплинарные археологические исследования в изучении миграций и мобильности (бронзовый век Южного Урала) / А.Е. Епимахов // Проблемы истории, филологии, культуры. – 2021. №3. С. 5–17.
7. Епимахов А.В. Археология и комплексные методы исследования. От представлений о линейной эволюции к мозаике культурных традиций (бронзовый век Урала в свете больших серий радиоуглеродных дат) / А.В. Епимахов, Е.В. Куприянова, П. Хоммель, Б.К. Хэнкс // Древние и традиционные культуры во взаимодействии со средой обитания: проблемы исторической реконструкции : материалы I Междунар. междисциплинар. конф. / отв. ред. Е. В. Куприянова. Челябинск : Изд-во Челяб. гос. ун-та. – 2021. С. 7-29.
8. Жуковский М.О. Использование мультироторных БПЛА и фотограмметрических технологий обработки аэрофотосъемки в современных археологических исследо-

ваниях / М.О. Жуковский // Виртуальная археология: материалы конф. (II; 1-3 июня 2015 г.; СПб.). – 2015. С. 106–109.

9. Зданович, Г.Б., Батанина, И.М. Левит, Н.В., Батанин, С.А. Археологический атлас Челябинской области / Г.Б. Зданович, И.М. Батанина, Н.В. Левит, С.А. Батанин // Труды музея-заповедника «Аркаим». Челябинск: Юж.-Урал. кн. изд-во. – 2003. Вып. 1: Степь–лесостепь: Кизильский район. – 240 с.

10. Программа для триангуляции сложных двумерных областей Gridder2D - URL: https://www.keldysh.ru/papers/2008/prep60/prep2008_60.html

11. Скворцов А.В. Триангуляция Делоне и её применение / А.В. Скворцов. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2002. – 128 с.

12. Скворцов А.В. Обзор алгоритмов построения триангуляции Делоне / А.В. Скворцов // Вычислительные методы и программирование. – 2002. №3. С. 14-39.

13. Цветовые модели CMYK, RGB, HSB. - URL: <https://icolorit.ru/blog/cvetovye-modeli-cmyk-rgb-hsb>

14. Шишкин К.В. Применение аэрофотосъемки для исследования археологических памятников / К.В. Шишкин // Советская археология. – 1966. №3. С. 116–121.

15. Щеглов И.А. Программа для триангуляции сложных двумерных областей Gridder2D (Software For Constrained 2D Triangulation Gridder2D Preprint, Inst. Appl. Math., the Russian Academy of Science) / И.А. Щеглов. – 2008. –[Электронный ресурс] – URL: https://www.keldysh.ru/papers/2008/prep60/prep2008_60.html

16. Adobe Photoshop CS 5 Academic Edition. - URL: <https://helpx.adobe.com/ru/photoshop/photoshop-cs5-cs55-tutorials.html>

17. Batanina, N.S. Soviet Period Air Photography and Archaeology of the Bronze Age in the Southern Urals of Russia: W.S. Hanson and I.A. Oltean (eds.) / N.S. Batanina, Br. K. Hanks // Archaeology from Historical Aerial and Satellite Archives. Springer Science+Business Media, LLC. – 2013. Chapter 12. P. 199-219.

18. CorelDraw 2017 Academic Edition. - URL: <https://www.coreldraw.com/en/pages/coreldraw-2017/>

19. Globa A.A. The effectiveness of parametric modelling and design ideation in architectural engineering / A.A. Globa, O.A. Ulchitskiy, E.K. Bulatova // Scientific Visualization. – 2018. Vol.10. №1. P. 99-109.

Method of Visualization of Geoinformative Data: on the Example of Reference Archaeological Objects

O.A. Ulchitskiy^{1,A}, E.K. Bulatova^{2,B}, E.K. Podobreeva^{3,A}, O.M. Veremey^{4,A}

^A Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia

^B Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

¹ ORCID: 0000-0003-1065-3251, o.ulchitsky@magtu.ru

² ORCID: 0000-0003-4010-021X, bulatova_ek@bk.ru

³ ORCID: 0000-0002-7673-7266, mgnket@mail.ru

⁴ ORCID: 0000-0001-9738-9830, o.veremey@mail.ru

Abstract

The article reveals the results of an interdisciplinary study aimed at improving laboratory methods for collecting, analyzing and synthesizing geodata necessary to expand the methodological apparatus in scientific fields for the study and preservation of cultural heritage sites in vast areas, using triangulation in building a geogrid with reference to satellite cards. Data visualization significantly complements natural and instrumental methods of collecting information, searching, fixing, systematizing and inventorying in areas that are difficult to access for field research methods.

Fixation and binding of control points to the geogrid by the triangulation method is due to a number of advantages: the accuracy of building and fixing the binding objects, the possibility of scaling the grid, the triangulation algorithm along the smallest diagonal of the quadrilateral.

As a result of assigning properties of modifiers to reference points, which were selected as reference archaeological objects - the ruins of fortified settlements on high-resolution satellite maps, layers of inter-object edge connections were formed, which, when certain properties of modifiers were turned on, were displayed as differently colored edges on the geogrid, fixing invariants patterns of these relationships.

In the final experiment, we obtained a hybrid visualization of layers based on the specified properties of modifiers for edge connections, between reference objects in the geogrid system, which made it possible to obtain more objective results under the given conditions than by methods of constructing linear links by coordinates, using tracing and routing.

As an implementation of the results of testing the method, a project of an interactive scalable cartographic scheme with visualization of data on the objects under study and their relationships in a large location has been developed.

Keywords: geodata visualization, Delaunay triangulation, parametric modeling, visualization in cartography, objects of cultural heritage, anchor reference objects.

References

1. Adrianov B.V. Deshifirovanie aerofotosnimkov pri izuchenii drevnih orositel'nyh sistem / B.V. Adrianov // Arheologiya i estestvennye nauki: sb. tr. – 1965. pp. 261-267.
2. Algoritm triangulyacii Delone metodom zametayushchej pryamoj. - URL: github.com/Vemmy124/Delaunay-Triangulation-Algorithm
3. Afanas'ev G.E. Osnovnye napravleniya primeneniya GIS- i DZ-tehnologij v arheologii / G.E. Afanas'ev // Arheologiya i informatika. [Elektronnyj resurs] – URL: <https://www.archaeolog.ru/media/periodicals/agis/AGIS-1/Afanasjev/page1.html>
4. Bryus P. Razvedochnyj analiz dannyh / P. Bryus, E. Bryus // Prakticheskaya statistika dlya specialistov Data Science. – SPb: BHV-Peterburg, 2018. – 304 p.

5. GIS GeoLink 3.14.0013. - URL: <http://www.geolink-consulting.ru/products/gis/download.html>
6. Epimahov A.V. Mul'tidisciplinarnye arheologicheskie issledovaniya v izuchenii migracij i mobil'nosti (bronzovyj vek YUzhnogo Urala) / A.E. Epimahov // Problemy istorii, filologii, kul'tury. – 2021. №3. pp. 5–17.
7. Epimahov A.V. Arheologiya i kompleksnye metody issledovaniya. Ot predstavlenij o linejnoj evolyucii k mozaike kul'turnyh tradicij (bronzovyj vek Urala v svete bol'shih serij radiouglerodnyh dat) / A.V. Epimahov, E.V. Kupriyanova, P. Hommel', B.K. Henks // Drevnie i tradicionnye kul'tury vo vzaimodejstvii so sredoj obitaniya: problemy istoricheskoy rekonstrukcii : materialy I Mezhdunar. mezhdisciplinar. konf. / otv. red. E. V. Kupriyanova. Chelyabinsk : Izd-vo Chelyab. gos. un-ta. – 2021. pp. 7-29.
8. Zhukovskij M.O. Ispolzovanie mul'tirotnykh BPLA i fotogrammetricheskikh tekhnologij obrabotki aerofotos"emki v sovremennykh arheologicheskikh issledovaniyah / M.O. Zhukovskij // Virtual'naya arheologiya: materialy konf. (II; 1-3 june 2015.; SPb.). – 2015. pp. 106–109.
9. Zdanovich G.B., Batanina I.M. Levit N.V., Batanin S.A. Arheologicheskij atlas Chelyabinskoy oblasti / G.B. Zdanovich, I.M. Batanina, N.V. Levit, S.A. Batanin // Trudy muzeyazapovednika «Arkaim». Chelyabinsk: Yuzh.-Ural. kn. izd-vo. – 2003. Vol. 1: Step'–lesostep': Kizil'skij rajon. – 240 p.
10. Programma dlya triangulyacii slozhnykh dvumernykh oblastej Gridder2D - URL: https://www.keldysh.ru/papers/2008/prep60/prep2008_60.html
11. Skvorcov A.V. Triangulyaciya Delone i eyo primenenie / A.V. Skvorcov. – Tomsk: Izd-vo Tom. un-ta, 2002. – 128 p.
12. Skvorcov A.V. Obzor algoritmov postroeniya triangulyacii Delone / A.V. Skvorcov // Vychislitel'nye metody i programmirovaniye. – 2002. №3. pp. 14-39.
13. Cvetovye modeli CMYK, RGB, HSB. - URL: <https://icolorit.ru/blog/cvetovye-modeli-cmyk-rgb-hsb>
14. Shishkin K.V. Primenenie aerofotos"emki dlya issledovaniya arheologicheskikh pamyatnikov / K.V. Shishkin // Sovetskaya arheologiya. – 1966. №3. pp. 116–121.
15. Shcheglov I.A. Programma dlya triangulyacii slozhnykh dvumernykh oblastej Gridder2D (Software For Constrained 2D Triangulation Gridder2D Preprint, Inst. Appl. Math., the Russian Academy of Science) / I.A. Shcheglov. – 2008. – [Elektronnyj resurs] – URL: https://www.keldysh.ru/papers/2008/prep60/prep2008_60.html
16. Adobe Photoshop CS 5 Academic Edition. - URL: <https://helpx.adobe.com/ru/photoshop/photoshop-cs5-cs55-tutorials.html>
17. Batanina N.S. Soviet Period Air Photography and Archaeology of the Bronze Age in the Southern Urals of Russia: W.S. Hanson and I.A. Oltean (eds.) / N.S. Batanina, Br. K. Hanks // Archaeology from Historical Aerial and Satellite Archives. Springer Science+Business Media, LLC. – 2013. Chapter 12. pp. 199-219.
18. CorelDraw 2017 Academic Edition. - URL: <https://www.coreldraw.com/en/pages/coreldraw-2017/>
19. Globa A.A. The effectiveness of parametric modelling and design ideation in architectural engineering / A.A. Globa, O.A. Ulchitskiy, E.K. Bulatova // Scientific Visualization. – 2018. Vol.10. №1. pp. 99-109.