

УДК 004.95

doi 10.54708/22259309\_2025\_13271

## АНАЛИЗ ГЕОМАГНИТНЫХ ДАННЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА И ГЛИФОВОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ

Г. О. Орлов<sup>1</sup>

[1orlovgleb99@mail.ru](mailto:1orlovgleb99@mail.ru)

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» (УУНИТ)

**Аннотация.** В работе представлена система обработки и анализа геомагнитных данных. Разработанная система состоит из модулей предобработки данных, кластерного анализа и глифовой визуализации. На этапе предобработки данные структурируются в соответствии с основными атрибутами базового графического объекта, используемого для визуализации, а именно – эллипсоидного глифа. Представленный глиф обладает цветовой характеристикой, а также вариативностью в отношении размеров эллипсов, из которых он состоит, что позволяет достаточно комплексно отобразить компоненты вектора напряженности геомагнитного поля на карте. Модуль кластерного анализа, в свою очередь, разбивает представленные глифы на кластеры в зависимости от интенсивности геомагнитных аномалий, которым они соответствуют.

**Ключевые слова:** эллипсоидный глиф; геомагнитные данные; векторное поле; кластерный анализ; визуализация.

### ВВЕДЕНИЕ

Сбор, обработка и анализ геомагнитных данных необходимы как для исследования природы и механизмов изменения магнитного поля Земли, так и для обеспечения техносферной безопасности. В контексте последнего представляется целесообразным отметить, что геомагнитные вариации (изменения значений параметров геомагнитного поля) представляют собой потенциальную глобальную угрозу для широкого спектра социально-экономических сфер деятельности общества [1]. Также эти данные могут быть использованы для корректировки работы навигационных систем, прогнозирования геофизической обстановки и поиска полезных ископаемых.

В работе на примере геомагнитных данных предложен и формализован новый подход к анализу путем визуализации посредством многоосевых глифов сложной формы, а также проведен кластерный анализ геомагнитных данных. Для разработки приложения использовался язык Python, для визуализации результатов в формате geojson использовался сервис geojson.io.

### СТРУКТУРА СИСТЕМЫ АНАЛИЗА ГЕОМАГНИТНЫХ ДАННЫХ

Система, предложенная в данной работе, состоит из нескольких функций обработки, каждая из которых решает свою задачу. На рис. 1 показана обобщенная структура системы, состоящая из модуля предобработки данных, который производит первичную очистку датасета и подготавливает данные к использованию в классе глифа, а также двух модулей анализа. Модуль кластерного анализа позволяет классифицировать геомагнитные аномалии по признаку их интенсивности, а модуль глифовой визуализации представляет компоненты вектора геомагнитного поля ( $n$ ,  $e$ ,  $c$ ) в виде эллипсоидного глифа на карте. Система может работать в том

числе как система поддержки принятия решений в случае необходимости корректировки аппаратных систем, зависящих от определенных вариаций геомагнитного поля.



Рис. 1. Обобщенная схема системы анализа

### КЛАСТЕРНЫЙ АНАЛИЗ

Предлагается разбить данные на три кластера методом k-средних [2] (в данном случае  $k = 3$ ), а именно – глифы для высокоинтенсивных магнитных аномалий (будут записаны в файл `high.geojson`), для аномалий средней интенсивности (`medium.geojson`) и низкой интенсивности (`weak.geojson`).

Для каждого кластера выбирается глиф-центроид с соответствующими характеристиками. Для определения принадлежности остальных глифов к тому или иному кластеру проверяется, насколько «близко» по своим параметрам они расположены к соответствующему центроиду в декартовой системе координат. Поскольку компонентов вектора 3, используется трехмерное пространство, соответственно для каждого глифа принадлежность к тому или иному центроиду (а значит, и кластеру) определяется по минимальному расстоянию до центроида следующим образом:

$$d_{\min} = \min_{i=1,2,3} \sqrt{(n - n_{\text{центроида } i})^2 + (e - e_{\text{центроида } i})^2 + (c - c_{\text{центроида } i})^2}.$$

В результате глифы будут записаны в три отдельных `geojson`-файла, каждый из которых можно будет визуализировать. В качестве примера на рис. 2 схематично показано распределение нескольких глифов:

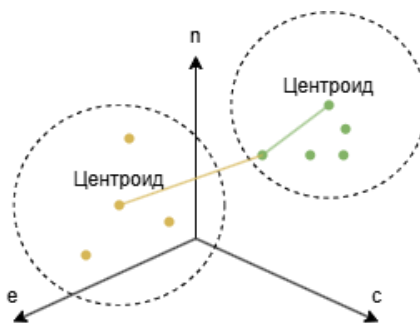


Рис. 2. Распределение глифов по кластерам

### ГЛИФОВАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ

На рис. 3 представлен алгоритм глифовой визуализации компонентов вектора напряженности геомагнитного поля:

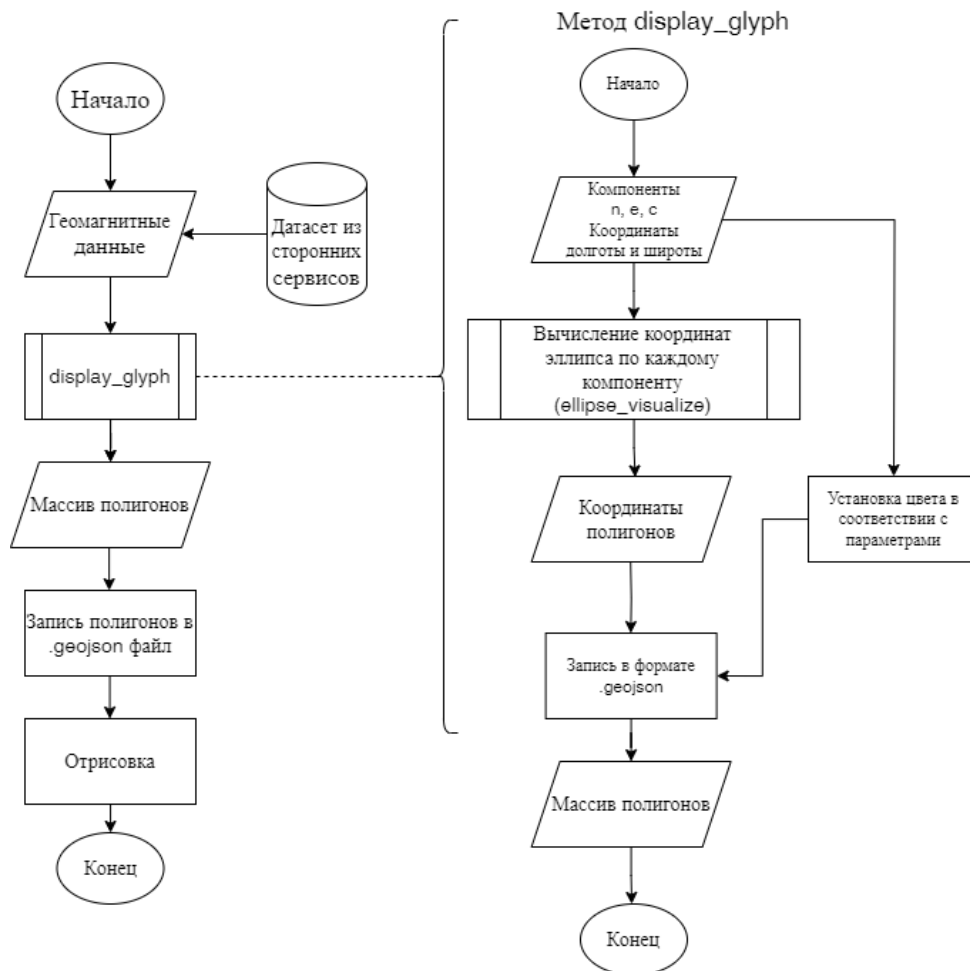


Рис. 3. Схема алгоритма визуализации компонентов вектора

Здесь подфункция `ellipse visualize` – функция, которая на выходе возвращает координаты для полигона, который будет представлять эллипс при интерпретации `geojson`-файла в `geojson.io`. Пример итогового глифа с отмеченными осями представлен на рис. 4:

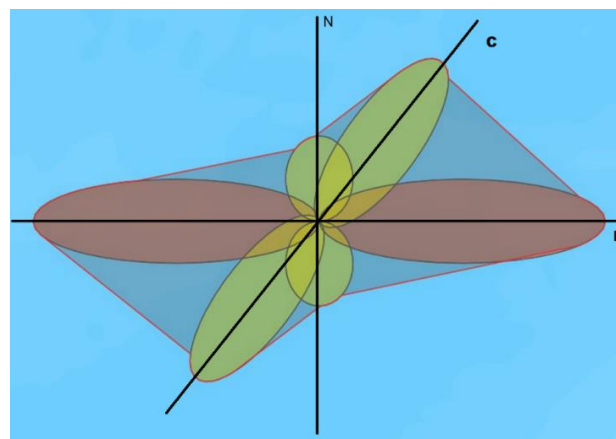


Рис. 4. Пример эллипсоидного глифа

Каждая ось глифа соответствует компоненте вектора напряженности магнитного поля, а центр глифа находится в центре геомагнитной аномалии [3]. На рис. 5 представлен пример визуализации на кластере слабых геомагнитных аномалий:

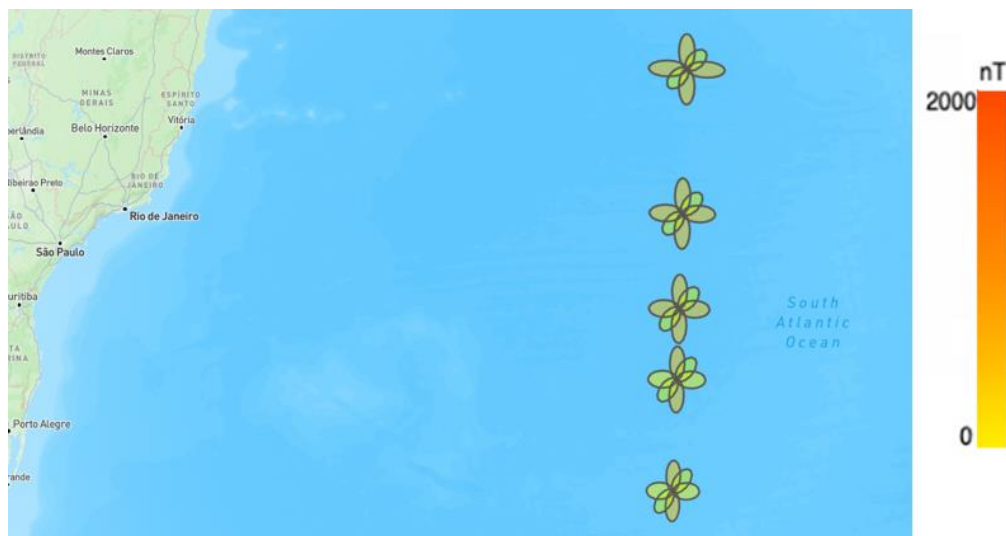


Рис. 5. Пример визуализации слабых геомагнитных аномалий

Интерпретируется данная визуализация с помощью легенды цветового градиента [4], а также посредством визуальной оценки вытянутости эллипсов по каждой оси. Цветовой градиент от желтого к красному показывает значение напряженности в нанотесла.

Как видно на рис. 5, на карте действительно отображаются слабо вытянутые эллипсы с бледно-желтой окраской, то есть выведены именно глифы, соответствующие низкоинтенсивным аномалиям. Аналогично следует проверить для высокоинтенсивных и средних магнитных вариаций. На рис. 6 приведен пример визуализации на кластере высокоинтенсивных геомагнитных аномалий:

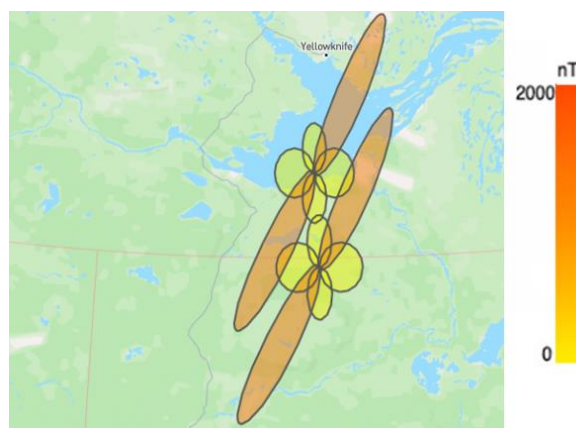


Рис. 6. Пример визуализации сильных геомагнитных аномалий

Наблюдаются сильно выраженные С-компоненты вектора напряженности, большой размер глифов и соответствующий окрас. Эти глифы верно отнесены к «высокому» кластеру. Также следует рассмотреть промежуточный кластер. На рис. 7 представлен пример визуализации на кластере геомагнитных аномалий средней интенсивности:

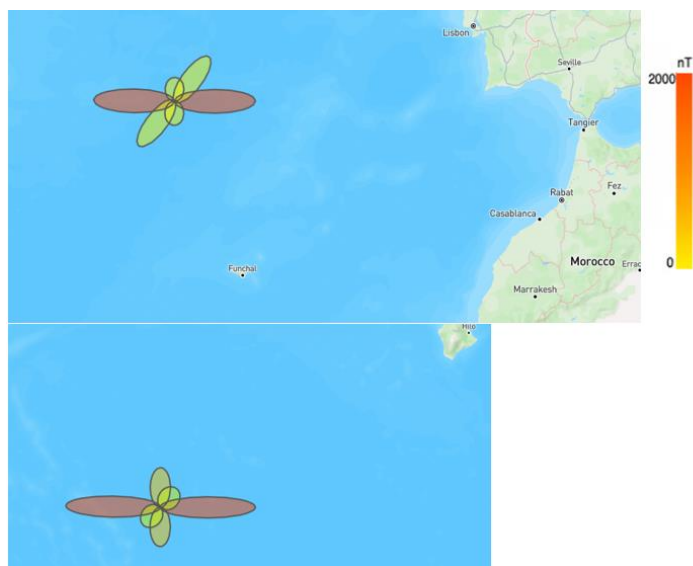


Рис. 7. Пример визуализации средних геомагнитных аномалий

Наблюдаются сильно выраженные N-компоненты вектора напряженности, однако остальные компоненты выражены слабо, и в целом глифы не имеют большого размера. Эти глифы верно отнесены к «среднему» кластеру.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Была предложена концепция анализа и обработки пространственных данных посредством глифовой визуализации и кластерного анализа, обеспечивающая их отображение в виде эллипсоидных глифов, что позволяет не зависеть от конкретного базиса, представлять данные в разных системах координат и комплексно отображать характеристики исследуемых пространственных объектов с помощью базовых графических примитивов.

Глифы оказались подходящим для этой концепции примитивом, обеспечивая корректное отображение данных и имея возможность отобразить информацию по всем осям вектора и наглядно показать значение ключевой характеристики с помощью монохромного градиента.

Результаты были представлены на трех кластерах: низкоинтенсивных аномалий, обычных и высокоинтенсивных, чтобы результаты можно было применять для корректировки оборудования разной степени чувствительности к геомагнитным вариациям.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воробьев А. В., Воробьева Г. Р. Веб-ориентированная 2D/3D-визуализация параметров геомагнитного поля и его вариаций // Научная визуализация. 2017. Т. 9. № 2. С. 94–101.
2. «Кластерный анализ. Вводный курс»: [Электронный ресурс]. URL: <https://www.dmitrymakarov.ru/intro/clustering> (Дата обращения: 24.11.2024)
3. Chongke Bi. A survey on visualization of tensor field / Chongke Bi. [и др.] // The Visualization Society of Japan. 2019.
4. Боярчук М. А. Разработка и исследование метода отображения векторного гравитационного поля Земли для геоинформационного анализа: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.35. М., 2020. 128 с.

#### ОБ АВТОРАХ

Орлов Глеб Олегович, студ. каф. ВМик.

#### METADATA

**Title:** Analysis of geomagnetic data using methods of cluster analysis and glyph visualization

**Author:** G.O. Orlov

**Affiliation:**

Ufa University of Science and Technology (UUST), Russia.

**Email:** [orlovgleb99@mail.ru](mailto:orlovgleb99@mail.ru)

**Language:** Russian.

**Source:** Molodezhnyj Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa University of Science and Technology), no. 1 (32), pp. 71-76, 2025. ISSN 2225-9309 (Print).

**Abstract:** The paper presents a system for processing and analyzing geomagnetic data. The developed system consists of modules for data preprocessing, cluster analysis, and glyph visualization. At the preprocessing stage, the data are structured in accordance with the main attributes of the basic graphic object used for visualization, namely, the ellipsoid glyph. The presented glyph has a color characteristic, as well as variability in the size of the ellipses it consists of, which allows for a fairly comprehensive display of the components of the geomagnetic field intensity vector on the map. The cluster analysis module, in turn, divides the presented glyphs into clusters depending on the intensity of the geomagnetic anomalies to which they correspond.

**Keywords:** Ellipsoid glyph, geomagnetic data, vector field, cluster analysis, visualization.

**About authors:**

**Orlov Gleb Olegovich**, graduate student, Dept. of COMPUTATIONAL MATHEMATICS AND ROBOTICS (UUST).