

УДК 004.032.26

doi 10.54708/22259309_2025_13222

ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СИСТЕМ КООРДИНАТ ПРИ АНАЛИЗЕ БОЛЬШИХ ГЕОМАГНИТНЫХ ДАННЫХ

С. А. ГОРДЕЕВА¹, Г. Р. ВОРОБЬЕВА²

¹gordeeva_sf@mail.ru, ²geomagnet@list.ru

^{1, 2}ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» (УУНИТ)

Аннотация. В геоинформатике важной задачей является преобразование систем координат, особенно – в специализированные системы, такие как геомагнитные. Эти преобразования нужны для описания геофизических процессов, которые зависят от параметров магнитных полюсов Земли. В работе предложен веб-ориентированный подход, который позволяет быстро преобразовывать географические координаты в геомагнитные. Архитектура решения модернизирована с использованием различных паттернов веб-дизайна, что обеспечивает гибкость и возможность добавления новых модулей. Это решение подходит для разных типов пользователей и интерфейсов, если используется правильный протокол. Эксперименты показали, что расчеты геомагнитных координат соответствуют известным моделям.

Ключевые слова: веб-приложение; геомагнитная система координат; плагинная архитектура; системы координат.

ВВЕДЕНИЕ

Выбор системы координат является ключевым аспектом проектирования геоинформационных систем, так как она должна эффективно отображать пространственное распределение данных. Наиболее распространены географические системы координат, основанные на широте и долготе, а также высоте. Также используются проекционные системы, где координаты определяются в виде X и Y на сетке, начинающейся в центре Земли. Основной операцией технологии штамповки детали являются операции гибки из плоской заготовки: гибка радиусная и гибка угловая. Поэтому анализ технологичности детали выполняли исходя из условий технологичности деталей, получаемых гибкой.

Существуют геофизические процессы, зависящие от параметров магнитных полюсов Земли, таких как геомагнитный диполь. Для их описания целесообразно использовать системы координат, адаптированные к геомагнитному полю. На больших расстояниях от Земли важным фактором является солнечный ветер, и его взаимодействие с атмосферой лучше представлять в системе координат, направленной к Солнцу.

В ионосфере и на поверхности Земли часто применяются сферические координаты, основанные на геомагнитном диполе. Эти координаты учитывают смещение магнитных полюсов от оси вращения Земли. Существуют различные системы координат, такие как солнечно-магнитная и геомагнитная, которые помогают изучать свойства магнитосферы и учитывать отклонения магнитного поля. Для преобразования между географическими и геомагнитными координатами используются переходные матрицы и геометрические соотношения [1].

АКТУАЛЬНОСТЬ

Трансформация систем координат важна в геофизике и других областях, где используются такие векторы, как геофизические поля и скорости. Существующие ГИС-решения, например, ArcGIS API for JS, предлагают инструменты для преобразования проекционных систем, однако они ограничены геодезическими координатами и не подходят для геомагнитных систем.

Библиотека AACGM предоставляет скорректированные геомагнитные координаты с учетом высоты, а SpacePy ориентирована на анализ космических данных и включает методы для преобразования координат. Также доступно решение от Мирового центра данных в Киото, предлагающее веб-клиент для преобразования координат.

Однако у всех этих решений есть недостатки, включая отсутствие поддержки прямого преобразования между географическими и геомагнитными системами. Это создает необходимость в разработке нового веб-ориентированного решения, которое обеспечит прямой и обратный переход между этими системами и будет доступно для интеграции в сторонние приложения.

ФОРМАЛЬНАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Преобразование между географической и геомагнитной системами координат осуществляется с использованием матричных трансформаций. Для этого формируется матрица T , которая задает правила преобразования каждой составляющей вектора:

$$V_B = T \cdot V_A,$$

где V_a – вектор в географической системе координат, а V_b – тот же вектор в геомагнитной системе. Обратное преобразование выполняется с помощью обратной матрицы T^{-1} .

Для трехмерных координат преобразование выглядит следующим образом:

$$\begin{pmatrix} x_B \\ y_B \\ z_B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} t_{11} & t_{12} & t_{13} \\ t_{21} & t_{22} & t_{23} \\ t_{31} & t_{32} & t_{33} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x_A \\ y_A \\ z_A \end{pmatrix}.$$

При переходе через промежуточную систему координат C используется комбинация матриц:

$$T_{AB} = T_{AC} \cdot T_{CB}.$$

Для преобразования географических координат в геомагнитные сначала вычисляется геоцентрическое расстояние r , а затем формируется матрица-столбец в прямоугольной географической системе:

$$\begin{pmatrix} x_{\text{geo}} \\ y_{\text{geo}} \\ z_{\text{geo}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r \cdot \sin \varphi \cdot \cos \lambda \\ r \cdot \sin \varphi \cdot \sin \lambda \\ r \cdot \cos \varphi \end{pmatrix},$$

где φ и λ – широта и долгота; h – высота над уровнем моря.

Далее рассчитываются углы поворота α и β для перехода к геомагнитной системе:

$$\alpha = \lambda_{\text{dipole}} = \arctan \frac{h_1^1}{g_1^1} - 90^\circ$$

$$\beta = \varphi_{\text{dipole}} - 90^\circ = \left(\arcsin \frac{g_1^1 \cos \lambda_{\text{dipole}} + h_1^1 \sin \lambda_{\text{dipole}}}{g_1^0} \right) - 90^\circ.$$

Трансформационная матрица T строится как произведение матриц поворота:

$$T = \langle \beta, Y \rangle \cdot \langle \alpha, Z \rangle.$$

После преобразования геомагнитные координаты переводятся из декартовой системы в геодезическую:

$$\begin{pmatrix} \varphi \\ \lambda \\ r \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \arctan \frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{z} \\ \arctan \frac{y}{x} \\ \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \end{pmatrix}.$$

Для описания положения точки в магнитосфере используется магнитное местное время (*MLT*), которое определяется как:

$$MLT = \frac{(\varphi - \varphi_{SP})}{15} - 12,$$

где φ – магнитная долгота точки; φ_{SP} – долгота подсолнечной точки.

Таким образом, координаты в геомагнитной системе представляются магнитной широтой, долготой и *MLT*, что позволяет учитывать влияние солнечного ветра и вращения Земли на магнитное поле.

АРХИТЕКТУРА ПРЕДЛАГАЕМОГО РЕШЕНИЯ

Архитектура включает несколько ключевых элементов:

1. Программный модуль $GEO \rightarrow MAG$: этот модуль отвечает за преобразование координат из географической системы в геомагнитную. Он использует матричные трансформации для перевода координат из одной системы в другую [2].
2. Программный модуль $MAG \rightarrow MLT$: этот модуль выполняет преобразование геомагнитных координат в магнитное местное время (*MLT*). *MLT* используется для описания положения точки в магнитосфере с учетом вращения Земли и влияния солнечного ветра [3].
3. Механизм обмена сообщениями: архитектура предполагает использование механизма обмена сообщениями между различными компонентами системы. Каждое сообщение содержит идентификаторы источника (Источник-ID) и адресата (Адресат-ID), а также уникальный идентификатор сообщения (Сообщение-ID). Тело сообщения содержит данные, необходимые для выполнения преобразований.
4. Список ID, имен и URI: в нижней части картинки представлен список идентификаторов (ID), имен и URI, которые, вероятно, связаны с различными компонентами системы или источниками данных. Это может быть список модулей, баз данных или других ресурсов, используемых в архитектуре.

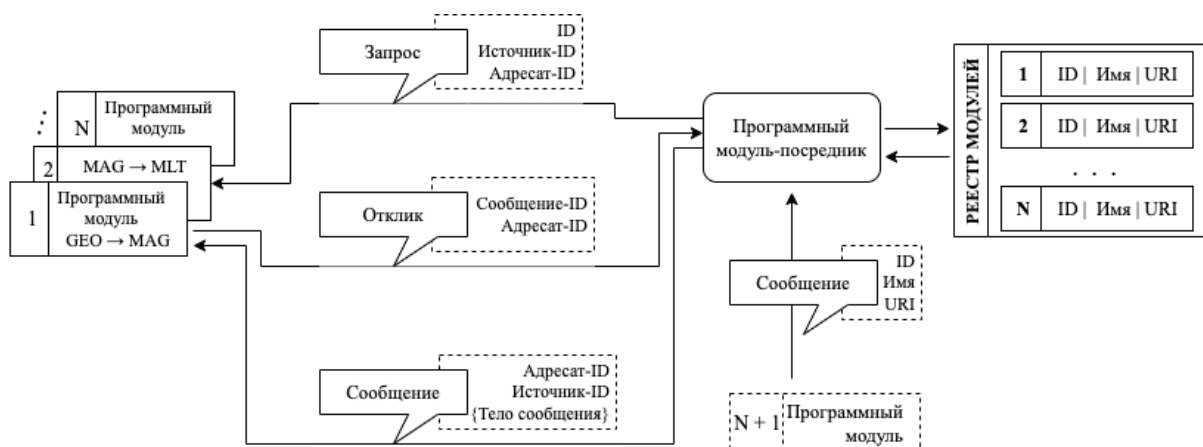


Рис. 1. Обобщенная модульная архитектура программного решения

ПРИМЕР ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Первый прототип имитирует работу приложения, которое отправляет запрос методом GET на сервер с параметрами (широта, долгота и время в формате UT) и получает ответ в формате JSON с магнитными координатами и *MLT* (рис. 2). Второй прототип применяет это решение

в проекте "Aurora Forecast", где серверный сценарий использует магнитные координаты для визуализации распределения авроральных высыпаний по модели АРМ. В отличие от первого прототипа, где клиентское приложение является потребителем данных, во втором случае сервер выполняет запросы и визуализирует результат (рис. 3).



Рис. 2. Пример клиентского приложения

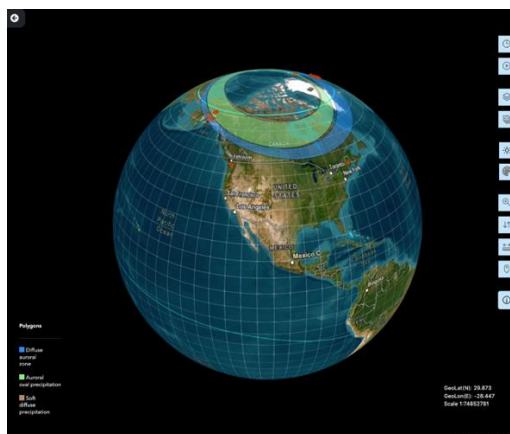


Рис. 3. Пример клиентского приложения

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный инструмент для расчета геомагнитных координат (широта, долгота и MLT) на основе геодезических данных использует гибкую плагиновую архитектуру, что позволяет легко интегрировать его в сторонние проекты. Прототипы веб-приложений подтвердили практическую применимость решения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воробьев А. В., Воробьева Г. Р., Христоудло О. И. Программная система пространственной визуализации прогностических и ретроспективных данных вероятности наблюдения полярных сияний // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2021. Т. 21. № 2. С. 225–233. DOI: 10.17586/2226-1494-2021-21-2-225-233.
2. Воробьев А. В., Соловьев А. А., Пилипенко В. А., Воробьева Г. Р. Интерактивная компьютерная модель для прогноза и анализа полярных сияний // Солнечно-земная физика. 2022. Т. 8. № 2. С. 93–100. DOI: 10.12737/szf-82202213.
3. Воробьев А. В., Пилипенко В. А., Еникеев Т. А. и др. Система динамической визуализации геомагнитных возмущений по данным наземных магнитных станций // Научная визуализация. 2021. № 13.1. С. 162–176. DOI: 10.26583/sv.13.1.11.

ОБ АВТОРАХ

Гордеева Софья Алексеевна, студ. каф. ВМиК.

Воробьева Гульнара Равиловна, профессор, д.т.н., доцент ВМиК.

METADATA

Title: Approach to solving the problem of coordinate system transformation when analyzing large geomagnetic data.

Author: S.A. Gordeeva¹, G.R. Vorobevea²

Affiliation:

^{1,2} Ufa University of Science and Technology (UUST), Russia.

Email: ¹gordeeva_sf@mail.ru, ²geomagnet@list.ru

Language: Russian.

Source: Molodezhnyj Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa University of Science and Technology), no. 1 (32), pp. 22-26, 2025. ISSN 2225-9309 (Print).

Abstract: An important task in geoinformatics is the transformation of coordinate systems, especially into specialized systems such as geomagnetic ones. These transformations are needed to describe geophysical processes that depend on the parameters of the Earth's magnetic poles. In this paper, we propose a web-oriented approach that allows fast conversion of geographic coordinates into geomagnetic coordinates. The architecture of the solution is modernized using different web design patterns, which provides flexibility and the possibility of adding new modules. The solution is suitable for different types of users and interfaces as long as the correct protocol is used. Experiments have shown that the geomagnetic coordinate calculations are consistent with known models.

Keywords: Web application, geomagnetic coordinate system, plugin architecture, coordinate systems.

About authors:

Gordeeva Sofya Alekseevna, student, Dept. of COMPUTATIONAL MATHEMATICS AND CYBERNETICS (UUST).

Vorobeva Gulnara Ravilevna, professor, Dept. of COMPUTATIONAL MATHEMATICS AND CYBERNETICS (UUST).