

И. Е. Дорогова¹✉, К. А. Демидов¹

Чат-бот для вычисления скоростей движения геодезических пунктов

Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: inna_dorogova@mail.ru

Аннотация. В данной статье приводится реализация программного обеспечения для вычисления скоростей движения пунктов в виде чат-бота в социальной сети Telegram. Обоснован выбор формата, приведены основные преимущества представления программного обеспечения в таком виде: быстрая обработка данных, доступность и удобство использования. Представлены основные инструменты для создания чат-бота, математическая основа для вычисления скоростей движения геодезических пунктов, описана программная реализация. Выполнено сопоставление результатов вычислений с онлайн калькулятором GAGE Plate Motion Calculator UNAVCO и скоростями пунктов ФАГС для территории Евразийской литосферной плиты. Сделаны выводы о точности реализации программного обеспечения в виде чат-бота. Модуль для вычисления скоростей также можно будет использовать и как составную часть для других функций, в том числе при преобразовании координат из одной системы координат в другую с учетом эпох. Данная операция также включена в функционал чат-бота.

Ключевые слова: геодинамика, скорости движения пунктов, модели движений земной коры, геодезические пункты, чат-бот

I. E. Dorogova¹✉, K. A. Demidov¹

A chatbot for determining the movement speeds of geodetic points

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: inna_dorogova@mail.ru

Abstract. This article provides an implementation of software for determining the movement speeds of points in the form of a chatbot on the Telegram social network. The choice of the format is justified, and the main advantages of presenting the software in this form are given: fast data processing, accessibility and ease of use. The main tools for creating a chatbot are presented, a mathematical basis for calculating the speeds of geodetic points, and a software implementation is described. The calculation results were compared with the GAGE Plate Motion Calculator UNAVCO online service and the official speeds of the FAGS points of the Eurasian plate. Conclusions are drawn about the accuracy of the software implementation in the form of a chatbot. The velocity calculation module can also be used as an integral part for other functions, including when converting coordinates from one coordinate system to another, taking into account epochs. This operation is also included in the chatbot functionality.

Keywords: geodynamics, speeds of movement of points, models of crustal movements, geodetic points, chatbot

Введение

Современные геодезические исследования требуют высокой точности, особенно при мониторинге деформаций земной поверхности. Для учета движения

земной поверхности создаются различные модели движения литосферных плит, основанные на результатах ГНСС-измерений. С помощью таких моделей можно вычислять скорости смещения отдельных геодезических пунктов и прогнозировать вектор их смещения.

Одним из перспективных направлений является разработка различного программного обеспечения, которое в автоматическом режиме способно производить вычисление скоростей движения пунктов. Оно может быть представлено в различных формах: от настольного приложения на ПК, до онлайн-сервиса в сети Интернет.

В данной статье рассматривается реализация программного обеспечения для определения скоростей движения геодезических пунктов в виде чат-бота, основные инструменты, необходимые для его работы, математическая основа, а также производится сравнение результатов вычисления с существующими реализациями.

Выбор инструментов для создания программного обеспечения

При выборе формы представления калькулятора было принято решение реализовать его в виде чат-бота Telegram. Боты представляют собой программы, вызываемые и работающие автоматически, которые общаются с пользователями и в ответ на команды выполняют различные задачи. У такого формата представления можно отметить следующие преимущества:

- автоматизация. Бот позволит автоматизировать выполнение преобразования координат, за счет асинхронности, большое количество пользователей имеют возможность пользоваться им одновременно;

- удобство и доступность. Бот реализован в социальной сети Telegram, которая является общедоступной и поддерживается на различных устройствах. Пользователь может преобразовывать координаты в браузере, на телефоне, или в приложении на ПК. При этом не обязательно устанавливать дополнительные приложения;

- обширные возможности для разработки. Технические средства, которые предоставляет Telegram, предлагают варианты для реализации различных приложений, а также чат-ботов разнообразного назначения.

Для реализации программного обеспечения применялся язык программирования Python (версия 3.12), а также различные библиотеки и готовые модули функций. Основной стала библиотека `aiogram` [1]. Данная библиотека предназначена для создания Telegram-ботов на языке программирования Python. Основными преимуществами данной библиотеки являются: асинхронность – бот может одновременно обрабатывать несколько запросов без задержек, а также работать с несколькими пользователями одновременно; машина состояний – позволяет боту различать сообщения из разных пунктов меню и реагировать на них соответствующим образом.

Также были использованы дополнительные библиотеки и модули, такие как: `math` [2], `numpy` [3], `geopandas` [4], `shapely` [5].

Чтобы программно идентифицировать, к какой тектонической плите относится тот или иной геодезический пункт, требуется информация о контурах этих плит. Для этого была применена модель Peter Bird 2002 (PB2002), разработанная профессором Питером Бердом [6]. Данный набор содержит информацию о 52 плитах: как о крупных, из модели NUVEL-1A, так и о малых, дополнительно включенных в модель для детального описания литосферной структуры Земли, рис. 1.

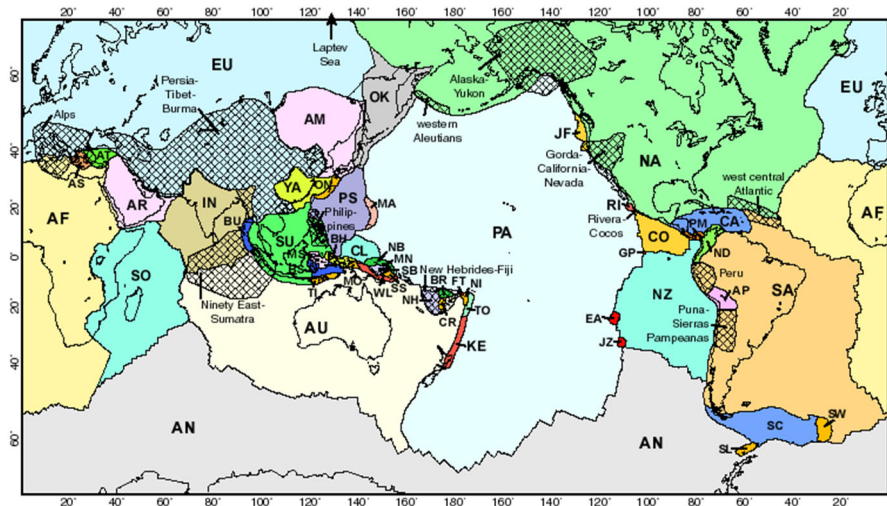


Рис. 1. Модель Peter Bird 2002 (PB2002)

В исходном виде границы представлены как текстовые файлы имеющие формат ASCII (American Standard Code for Information Interchange). Используемые наборы данных предоставляют информацию о координатах границ литосферных плит, содержащие также названия, и лаконичные кодовые обозначения. Они были реструктурированы и представлены в виде базы геопространственных данных GeoJSON [7]. Такой вид представления информации дает возможность интегрировать модель в программное обеспечение.

Чат-бот предполагает возможность использования моделей движений земной коры NNR-NUVEL-1A, NNR-MORVEL56, ITRF2008 PMM, ITRF2014 PMM, а также ITRF2020 PMM. Для этого были изучены источники [8–13] и использованы данные об угловых скоростях движения литосферных плит.

Математическая основа программного обеспечения

Для создания программного обеспечения для вычисления скоростей движения геодезических пунктов необходима математическая основа [14]. Вычисление скоростей движения пункта V_x , V_y , V_z производится по формулам:

$$\mathbf{V} = \begin{bmatrix} 0 & -\omega_z & \omega_y \\ \omega_z & 0 & -\omega_x \\ -\omega_y & \omega_x & 0 \end{bmatrix} \cdot \mathbf{R}(t_0), \quad (1)$$

$$\mathbf{R}(t_0) = \begin{bmatrix} \frac{X}{\rho} \\ \frac{Y}{\rho} \\ \frac{Z}{\rho} \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где X, Y, Z – координаты пункта (прямоугольные пространственные), м;

$\omega_x, \omega_y, \omega_z$ – составляющие угловой скорости плит, сек/год;

ρ – количество угловых секунд, содержащихся в радиане.

Для вычисления компонент скоростей V_E, V_N, V_U применялись формулы:

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} -\sin L & -\sin B \cos L & \cos B \cos L \\ \cos L & -\sin B \sin L & \cos B \sin L \\ 0 & \cos B & \sin B \end{bmatrix}, \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} V_E \\ V_N \\ V_U \end{bmatrix} = \mathbf{R}^T \cdot \begin{bmatrix} V_X \\ V_Y \\ V_Z \end{bmatrix}, \quad (4)$$

где $\mathbf{R}$ – матрица для перехода между экваториальными и топоцентрическими координатами;

$\mathbf{R}^T$ – матрица поворота после транспонирования;

V_X, V_Y, V_Z – составляющие вектора, описывающего скорость движения пункта, м/год.

Программная реализация в виде чат-бота

С использованием инструментов, а также математической основы, описанной выше, было реализовано программное обеспечение для определения скоростей движения геодезических пунктов. Его алгоритмы вычисления основаны на программном обеспечении GeoCalc [15, 16]. Они были усовершенствованы, оптимизированы и представлены в виде чат-бота.

Для начала работы с чат-ботом пользователю необходимо ввести команду «/start». Бот отправит приветственное сообщение, что подтверждает его запуск. При вводе команды «/help», пользователю получит сообщение с доступными командами бота, рис. 2.

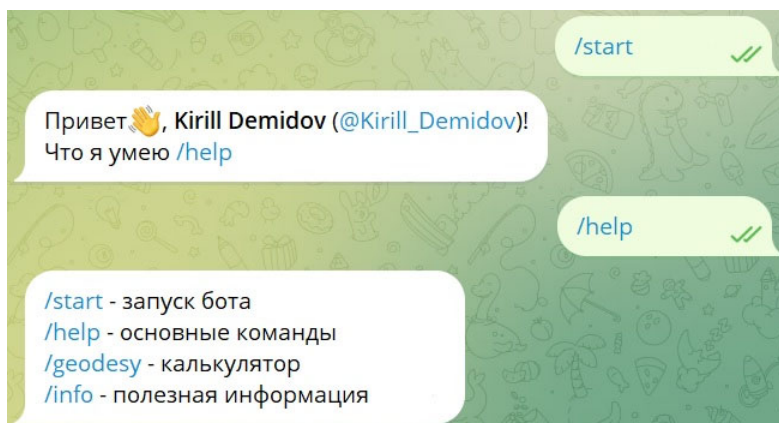


Рис. 2. Команды «/start» и «/help»

Для начала работы с функцией определения скоростей движения геодезических пунктов пользователю необходимо ввести команду «/geodesy». В ответном сообщении бот предложит варианты функциональных возможностей, из которых необходимо выбрать пункт «Вычисление скоростей движения пунктов», рис. 3.

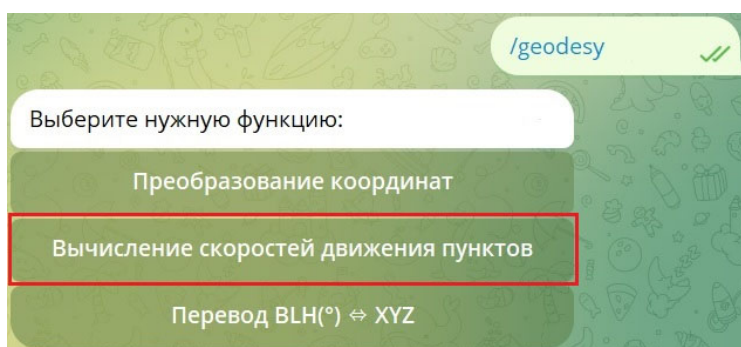


Рис. 3. Интерфейс для выбора вычислительных функций

Следующим шагом для пользователя является выбор типа координат. На выбор в чат-боте представлены геодезические (B , L , H) и пространственные прямоугольные (X , Y , Z) координаты, рис. 4.



Рис. 4. Интерфейс для выбора типа координат

Затем пользователю необходимо выбрать модель движения литосферных плит. На выбор представлены модели NNR-NUVEL-1A, NNR-MORVEL56, ITRF2008 PMM, ITRF2014 PMM, а также ITRF2020 PMM, рис. 5.



Рис. 5. Интерфейс для выбора модели движения литосферных плит

Заключительным этапом является ввод координат геодезического пункта. Для этого пользователю необходимо отправить сообщение с координатами через символ «;», разделителем для целой и дробной части является точка. В ответ чат-бот пришлет сообщение с информацией о выбранной ранее модели движения плит, скоростях движения плит V_X , V_Y , V_Z , V_E , V_N , а также коде и названии плиты, на которой находится пункт, рис. 6.

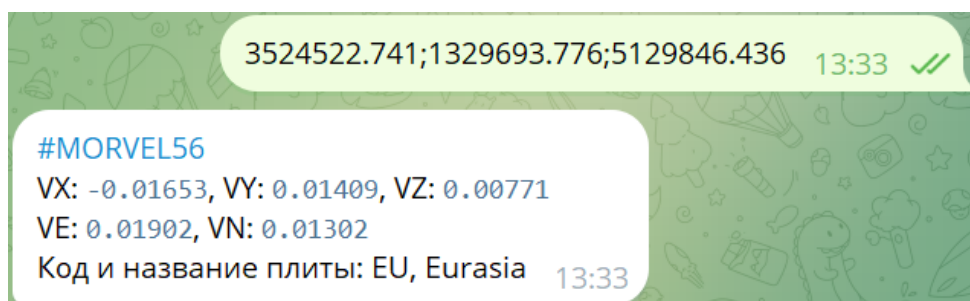


Рис. 6. Сообщение с результатами вычислений скоростей

Для проверки достоверности результатов было выполнено сравнение с существующими реализациями. Для этого был использован геодинамический калькулятор GAGE Plate Motion Calculator UNAVCO [17]. Проверка проводилась на основе данных пунктов ФАГС [18] (Фундаментальная астрономо-геодезическая сеть), которые также содержат данные о скоростях годовых смещений V_X , V_Y , V_Z , V_E , V_N . Результаты сравнения показали, что разности между вычисленными скоростями и скоростями, размещенными на сайте Росреестра, для большинства пунктов Евразийской литосферной плиты находятся на уровне 0,01

мм/год. Данное расхождение говорит о том, что чат-бот является точным решением для определения скоростей движения геодезических пунктов.

Заключение

Проанализировав полученные результаты, можно сделать вывод о том, что программное обеспечение виде чат-бота является надежным и точным решением для определения скоростей движения геодезических пунктов. Реализация в таком виде имеет ряд плюсов, таких как: быстрая обработка данных, доступность и удобство пользования.

Модуль для вычисления скоростей также можно будет использовать и как составную часть для других функций. Потребность в вычислении скоростей есть при преобразовании координат из одной системы координат в другую с учетом эпох. Данная функция также включена в функционал чат-бота. Таким образом, разработанный модуль стал одной из ключевых функций чат-бота как в виде самостоятельной функции, так и в виде встроенной в другие.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Библиотека aiogram для Python // Aiogram documentation [сайт]. – 2025. – URL : <https://docs.aiogram.dev/en/v3.19.0/> (дата обращения : 14.05.2025). – Режим доступа : общ. доступ. – Текст : электронный.
2. Библиотека math для Python // Python documentation [сайт]. – 2025. – URL : <https://docs.python.org/3/library/math.html> (дата обращения : 14.05.2025). – Режим доступа : общ. доступ. – Текст : электронный.
3. Библиотека numpy для Python // NumPy official site [сайт]. – 2025. – URL : <https://numpy.org> (дата обращения : 14.05.2025). – Режим доступа : общ. доступ. – Текст : электронный.
4. Библиотека geopandas для Python // Geopandas documentation [сайт]. – 2025. – URL : <https://geopandas.org/en/stable> (дата обращения : 14.05.2025). – Режим доступа : общ. доступ. – Текст : электронный.
5. Библиотека shapely для Python // Shapely documentation [сайт]. – 2025. – URL : <https://shapely.readthedocs.io/en/stable/index.html> (дата обращения : 14.05.2025). – Режим доступа : общ. доступ. – Текст : электронный.
6. Bird, P. An updated digital model of plate boundaries / P. Bird. – Текст : непосредственный // An electronic journal of the Earth sciences. – 2003. – № 10. – 52 с. – ISSN 1525-2027.
7. World tectonic plates and boundaries // GitHub [сайт]. – 2025. – URL : <https://github.com/fraxen/tectonicplates> (дата обращения : 15.05.2025). – Режим доступа : общ. доступ. – Текст : электронный.
8. Shuanggen, J. A revision of the parameters of the NNR-NUVEL-1A plate velocity model / J. Shuanggen, Z. Wenyao. – Текст : непосредственный // Journal of Geodynamics. – 2004. – № 38. – С. 85–92. – ISSN 0264-3707.
9. Argus, D. Geologically current motion of 56 plates relative to the no-net-rotation reference frame / D. Argus, R. Gordon, C. DeMets. – Текст : непосредственный // American Geophysical Union. – 2011. – № 11. – 13 с. – ISSN 0094-8276.
10. MORVEL and NNR-MORVEL56 information // MORVEL and NNR-MORVEL56 plate velocity estimates and information [сайт]. – 2025. – URL : <http://www.geology.wisc.edu/~chuck/MORVEL/index.html> (дата обращения : 12.05.2025). – Режим доступа : общ. доступ. – Текст : электронный.

11. Altamimi, Z. ITRF2008 plate motion model / Z. Altamimi, L. Metivier, X. Collilieux. – Текст : непосредственный // Journal of geophysical research. – 2012. – № 117. – 14 с. – ISSN 2156-2202.
12. ITRF2014 plate motion model / Z. Altamimi, L. Metivier, P. Rebischung [и др.]. – Текст : непосредственный // Geophysical Journal International. – 2016. – С. 1906–1912. – ISSN 0956-540X.
13. ITRF2020 plate motion model / Z. Altamimi, L. Metivier, P. Rebischung [и др.]. – Текст : непосредственный // Geophysical Journal International. – 2023. – С. 605–612. – ISSN 0094-8276.
14. Гиенко, Е. Г. Применение глобальных спутниковых навигационных систем в геодезии и навигации : учебное пособие / Е. Г. Гиенко, К. М. Антонович, Л. А. Липатников. – Новосибирск : СГУГиТ, 2019. – С. 8–28. – ISBN 978-5-907052-77-2. – Текст : непосредственный.
15. Дорогова И. Е., Демидов К.А. Разработка геодинамического калькулятора для определения параметров движения земной коры // Интерэкспо Гео-Сибирь 2023. – Т. 1. – № 1. – С. 216-223. – DOI: 10.33764/2618-981X-2023-1-1-216-223
16. Дорогова И.Е., Демидов К.А. GEOCALC: Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2023662485, 08.06.2023. Заявка № 2023661780 от 08.06.2023.
17. UNAVCO Plate Motion Calculator // University NAVSTAR Consortium [сайт]. – 2023. – URL: <https://www.unavco.org/software/geodetic-utilities/plate-motion-calculator/plate-motion-calculator.html> (дата обращения : 14.05.2025). – Режим доступа : общ. доступ. – Текст : электронный.
18. Центр точных эфемерид RGS Centre [сайт]. – URL: <https://rgs.cgkipd.ru/fags-coords> (дата обращения : 13.05.2025). – Режим доступа : общ. доступ. – Текст : электронный.

© И. Е. Дорогова, К. А. Демидов, 2025