

И. Е. Дорогова¹, К. А. Демидов¹*

Учет движений земной коры при преобразованиях между системами координат

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск, Российская Федерация

* e-mail: inna_dorogova@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрена разработка программного обеспечения для преобразования координат из одной системы в другую с учетом движений земной коры. Предложены схемы преобразований для наиболее распространенных систем координат. При разработке схем учтены эпохи совмещения систем координат и применяются модели движений земной коры, разработанные для различных версий системы ITRF, а также модель движений земной коры, разработанная для территории Российской Федерации. Разработанная модель движений земной коры опирается на модель движения литосферных плит MORVEL-56, сглаженную на границах литосферных плит. Продемонстрированы работа и возможности разработанного геокалькулятора. Обоснована необходимость учета движений земной коры для системы координат ГСК-2011, даны рекомендации по совместному использованию координат геодезических пунктов в системе ГСК-2011, полученных без учета движений земной коры и с учетом движений земной коры, описанных разработанной моделью.

Ключевые слова: геодинамика, система отсчета, движения земной коры, координатно-временное обеспечение, модель движений земной коры

I. E. Dorogova¹, K. A. Demidov¹*

Consideration of the Earth's crust's movements during transformations between coordinate systems

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

*e-mail: inna_dorogova@mail.ru

Abstract. The article discusses the development of software for converting coordinates from one system to another, taking into account the movements of the Earth's crust. Transformation schemes for the most common coordinate systems are proposed. When developing the schemes, the epochs of coordinate system alignment are taken into account and models of crustal movements developed for various versions of the ITRF system are used, as well as a model of crustal movements developed for the territory of the Russian Federation. The developed model of movements of the Earth's crust is based on the model of movement of lithospheric plates MORVEL-56, smoothed at the boundaries of lithospheric plates. The work and capabilities of the developed calculator are demonstrated. The necessity of taking into account the movements of the Earth's crust for the GSK-2011 coordinate system is justified, recommendations are given for the joint use of coordinates of geodetic points in the GSK-2011 system obtained without taking into account the movements of the earth's crust and taking into account the movements of the earth's crust described by the developed model.

Keywords: geodynamics, reference frame, movements of the Earth's crust, coordinate-time support, model of movements of the Earth's crust

Введение

На сегодняшний день нет единого представления о том, как должны пересчитываться координаты в системе ГСК-2011 между эпохами наблюдений. В различных источниках предполагается использование системы координат ГСК-2011 как динамической [1] или статической, обновляемой путем ввода новых реализаций [2], [3].

На практике все существующие калькуляторы, выполняющие преобразования координат и поддерживающие систему координат ГСК-2011, считают систему ГСК-2011 статической в рамках одной реализации. В этой статье рассмотрены схемы перехода между системами координат, предполагающие использование ГСК-2011 как динамической системы координат, пересчет между эпохами наблюдений в которой осуществляется с опорой на модель движения земной коры для территории Российской Федерации.

Преобразование координат из одной системы в другую с учетом движений земной коры

Разработанная авторами статьи и представленная в работах [4-8] модель движений земной коры и основанные на ней программные блоки определения скоростей движений пунктов используются при вычислении координат пунктов в системе ГСК-2011 на различные эпохи наблюдений.

Переход между эпохами наблюдений в системах ITRF 2008/2024/2020 возможно организовать, используя глобальные параметры перехода и скорости их изменения, или с помощью моделей движения земной коры ITRF 2008/2024/2020. Нами был выбран второй подход, поскольку такой подход описывает движения пунктов более детально, учитывая территориальные различия характера движений земной коры. Схема реализации перехода между системой координат ITRF2008 и ГСК-2011 на заданную эпоху наблюдений приведена на рисунке 1.

Параметры взаимосвязи систем ITRF2008 и ГСК-2011 на эпоху 2011.0 известны из [1], для ITRF2014 такие параметры неизвестны, поэтому переход осуществляется по более сложной схеме через систему координат ITRF2008, используя параметры связи ITRF2014 и ITRF2008 на эпоху 2010.0 и модели движения земной коры ITRF2014 и ITRF2008. Аналогичная схема получена для преобразования координат на эпоху наблюдений между системами ITRF2020 и ГСК-2011 (рисунок 2). Переход также осуществляется через систему координат ITRF2008, используя параметры связи ITRF2020 и ITRF2008 на эпоху 2015.0 и модели движения земной коры ITRF2020 и ITRF2008.

По аналогичным схемам осуществляются преобразования из различных реализаций системы координат WGS-84. Преобразования между системами СК-42/СК-95 и ГСК-2011 на заданную эпоху наблюдений реализуются согласно схеме, приведенной на рисунке 3. Системы СК-42/СК-95 являются статистическими, поэтому координаты в этих системах на эпоху наблюдений и эпоху 2011.0 приняты равными, в системе ГСК-2011 координаты пунктов пересчитываются на эпоху наблюдений с использованием разработанной модели движений земной коры.

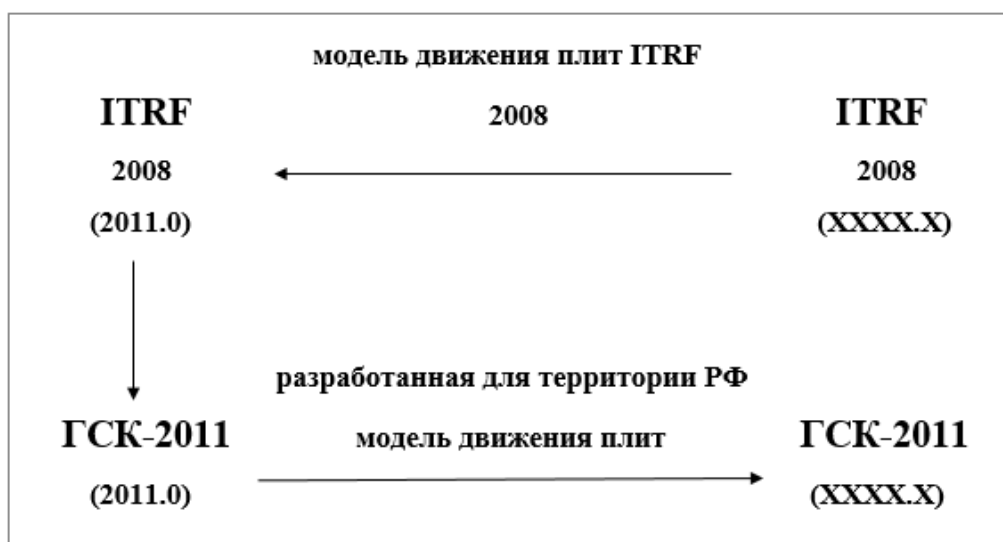


Рисунок 1 – Схема преобразования координат точки из международной системы ITRF2008 в государственную геодезическую систему координат

ГСК-2011 на эпоху XXXX.X

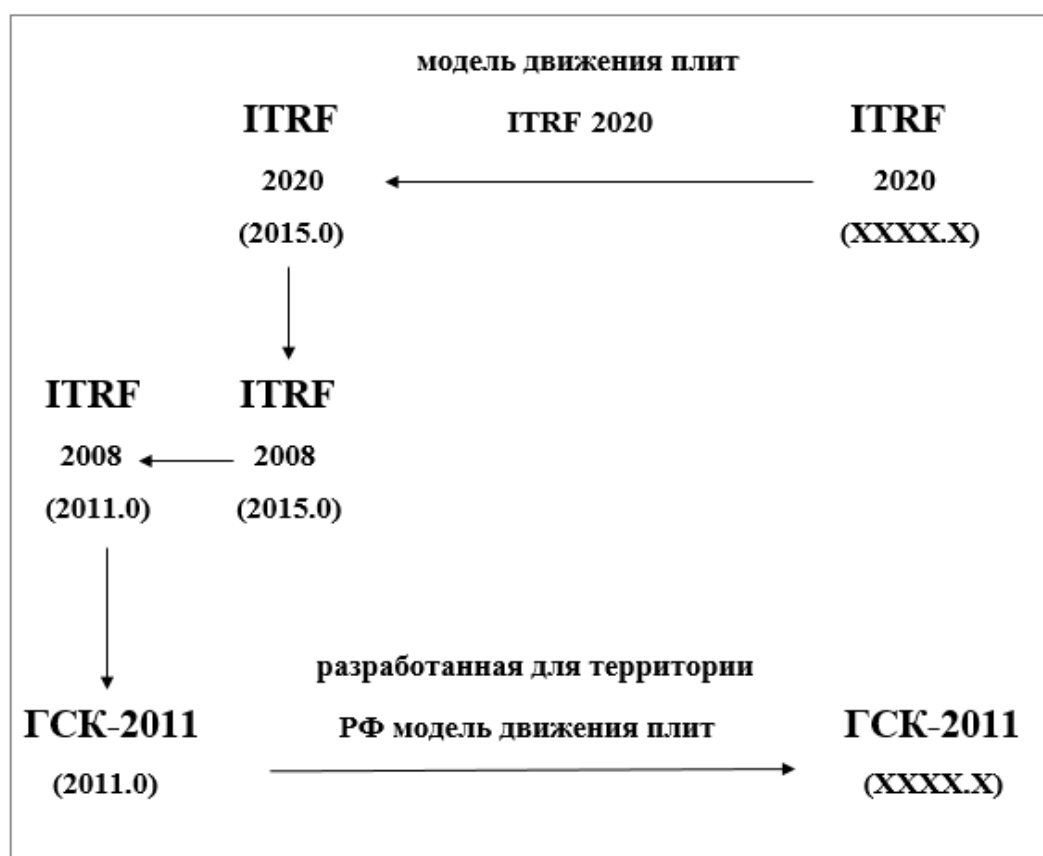


Рисунок 2 – Схема преобразования координат точки из международной системы ITRF2020 в государственную геодезическую систему координат ГСК-2011 на эпоху XXXX.X

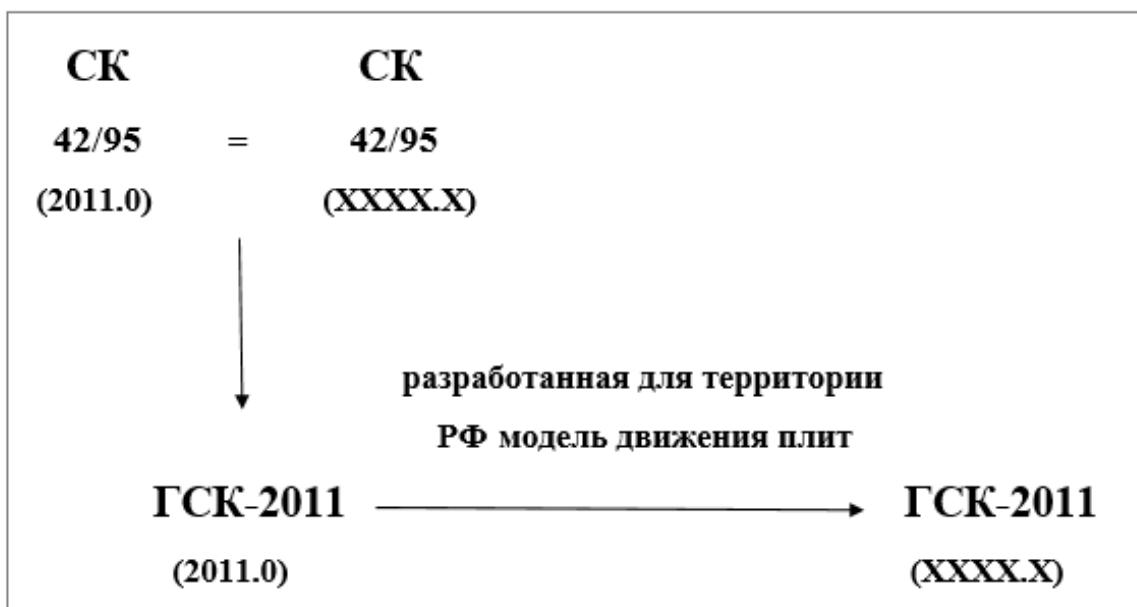


Рисунок 3 – Схема преобразования координат точки из государственных систем СК-42/СК-95 в государственную геодезическую систему координат ГСК-2011 на эпоху XXXX.X

Результаты

Описанные выше алгоритмы преобразования координат были использованы для создания программного обеспечения – калькулятора для преобразования координат из одной системы в другую с учетом движений земной коры. Основной интерфейс калькулятора и поддерживаемые системы координат приведены на рисунке 4.

Исходные данные:

☒ XYZ ☐ BLN ☐ ***

X, м: 3563350.650 B, °: ° ' "

Y, м: 2889411.240 L, °: ° ' "

Z, м: 4416382.760 H, м: H, м: H, м:

Исходная дата: 05-10-2024 WGS-84

Получаемые данные:

ГСК-2011 BLN(° ° ") Расчетная дата: 05-10-2024 Вычислить!

Карта: **Результат:**

Эпоха 2024.76 Перевод из WGS-84 в ГСК-2011 на эпоху 2024.76

B = 44° 6' 10.27888" L = 39° 2' 15.11967" H = 111.275 м

Исходные данные:

☒ XYZ ☐ BLN ☐ ***

X, м: Y, м: Z, м: B, °: L, °: H, м: H, м: H, м:

Исходная дата: WGS-84 (G1150)

Получаемые данные:

Система координат: Тип координат: Расчетная дата: 05-10-2024 Вычислить!

Система координат:

- ГСК-2011
- ПЗ-90.11
- СК-42
- СК-95
- ITRF2008
- ITRF2014
- ITRF2020

Результат:

Рисунок 4 – Интерфейс геокалькулятора и поддерживаемые системы координат

По окончании расчетов в окне визуализации появляется также карта с двумя точками: на начальную дату и на дату наблюдения. С ее помощью пользователь может визуально оценить направление вектора смещения точки (рисунок 5).

Рисунок 5 – Карта, демонстрирующая движение точки

Выводы

Схемы преобразования координат, рассмотренные в данной статье, предполагают, что координаты точек в ГСК-2011 изменяются со временем, что соответствует утверждению Приложения Е [1] о том, что «системы координат ПЗ-90.11, ПЗ-90.02, ITRF-2008, WGS-84 (G1150), ГСК-2011 отличаются повышенной точностью, перед выполнением преобразования из одной системы координат в другую координаты пунктов должны быть приведены на эпоху вывода параметров преобразования этих систем координат с использованием скоростей изменения координат пунктов». Однако на практике в большинстве случаев систему ГСК-2011 используют как статическую и не выполняют преобразования координат на эпоху наблюдений. Это связано во многом с тем, что, без соответствующей системы сервисов, на практике сложно эффективно использовать систему координат, в которой постоянно меняются координаты локально неподвижных объектов местности. Однако при таком подходе затрудняется обеспечение высокоточных геодезических измерений, например, ГНСС измерений, когда априорные координаты исходных пунктов должны быть известны с высокой точностью в той системе координат, в которой заданы эфемериды, а также возникает путаница и погрешности за счет совместного использования координат пунктов с учтенными и неучтенными скоростями движений.

Таким образом, полностью отказаться от учета скоростей движений земной коры в рамках ГСК-2011 невозможно, для решения задач государственного масштаба и поддержания взаимосвязи с другими системами координат, их придется учитывать, поэтому требуется разработать подход, при котором, с одной стороны пользователи на производстве могли использовать статические координаты точек локальных объектов, с другой – могли решаться государственные задачи с учетом динамической составляющей координат пунктов.

Оба подхода не являются взаимоисключающими, в мировом опыте распространена практика использования двух государственных систем координат на территории одного государства – одна из систем при этом обычно является статической и служит для координатного обеспечения различных сфер народного хозяйства, вторая является динамической и обеспечивает поддержание актуальной взаимосвязи с другими, в том числе и международными динамическими, системами координат [9-12].

Исследование выполнено в рамках СЧ НИР «ГЕОТЕХ-Квант-2» с целью повышения точности координатно-временных определений на территории Российской Федерации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 ГОСТ 32453–2017 Глобальная навигационная спутниковая система. Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек. – М: Стандартинформ, 2017. – 20 с.

2 Объяснение к геодезической системе координат 2011 года / Г. Н. Ефимов, В. И. Зубинский, В. В. Попадьев – 2021.

3 Об утверждении геометрических и физических числовых геодезических параметров государственной геодезической системы координат 2011 года : приказ Росреестра от 23.03.2016 № П/0134 (Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс») – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_198787/ (дата обращения: 30.04.2022).

4 Дорогова И.Е., Разработка программно-математической модели движений земной коры для территории Российской Федерации // Геодезия и картография. – 2024. – № 7. – С. 2-11. DOI: 10.22389/0016-7126-2024-1009-7-2-1.

5 Дорогова И. Е. Принципиальная схема программно-математической модели движений земной коры для территории Российской Федерации / И.Е. Дорогова // Регулирование земельно-имущественных отношений в России: правовое и геопространственное обеспечение, оценка недвижимости, экология, технологические решения: сборник материалов VII Национальной научно-практической конференции с международным участием, 21–24 ноября 2023 г., Новосибирск. В 3 ч. Ч. 3. – Новосибирск : СГУГиТ, 2024. – № 3. – С. 179-185. – DOI 10.33764/2687-041X-2024-3-179-185.

6 Дорогова И. Е., Демидов К. А. Разработка программной модели движений блоков земной коры для территории Российской Федерации / Дорогова И.Е., Демидов К.А. // Регулирование земельно-имущественных отношений в России: правовое и геопространственное обеспечение, оценка недвижимости, экология, технологические решения: сборник материалов VII Национальной научно-практической конференции с международным участием, 21–24 ноября 2023 г., Новосибирск. В 3 ч. Ч. 3. – Новосибирск : СГУГиТ, 2024. – С. 192-198. – DOI 10.33764/2687-041X-2024-3-192-198.

7 Дорогова И. Е., Сутурин Г. В. Разработка программного обеспечения для билинейной интерполяции на основе цифровой модели движений земной коры // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XX Международный научный конгресс, 15– 17 мая 2024 г., Новосибирск : сборник материалов в 8 т. Т. 1: Международная научная конференция «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск : СГУГиТ, 2024. – С. 158-164. – DOI 10.33764/2618-981X-2024-1-158-164.

8 Дорогова И. Е., Шаповалов А. В. Программное решение для построения сглаженного поля скоростей земной коры на территории Российской Федерации // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XX Международный научный конгресс, 15– 17 мая 2024 г., Новосибирск : сборник материалов в 8 т. Т. 1: Международная научная конференция «Геодезия, геоинформатика, кар-

тография, маркшейдерия». – Новосибирск : СГУГиТ, 2024. – С. 165-171 – DOI 10.33764/2618-981X-2024-1-165-171.

9 Карпик А. П., Дорогова И. Е. Анализ мирового опыта ввода полудинамических систем координат и территориальных реализаций систем координат // Вестник СГУГиТ. – 2024. – Т. 29, № 4. – С. 16–30. – DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-4-16-30

10 Geoscience Australia. Australian Geospatial Reference System/ – URL: <https://www.ga.gov.au/scientific-topics/positioning-navigation/australian-geospatial-reference-system> (дата обращения: 17.09.2023).

11 Geocentric Datum of Australia 2020. Technical Manual 1. Version 1.2 Intergovernmental Committee on Surveying and Mapping. – 77 p.

12 ICSM transformation grids. – URL: https://github.com/icsm-au/transformation_grids/tree/373affdf4c00bd7f0b1d43a012551d1c9b31b498 (дата обращения: 21.04.2023).

© И. Е. Дорогова, К. А. Демидов, 2025