

**STRAIN RATES FOR THE SOUTHERN SIBERIAN CRATON DERIVED FROM GPS MEASUREMENTS**S.V. Ashurkov  

Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 128 Lermontov St, Irkutsk 664033, Russia

ABSTRACT. This paper presents quantitative estimates of the strain rates for the southern part of the Siberian craton derived from GPS data. The obtained results confirmed the theoretical concept of low strain rates (10^{-9} ×year⁻¹) in the intra-platform areas. The paper is based on raw measurement data from open sources, previously reported displacement velocities, and measurement data from the Laboratory of Recent Geodynamics of the Institute of the Earth's Crust SB RAS. It is shown that of the 5 mentioned EFT-CORS stations, the BRTK site (Bratsk city) cannot be used to estimate the long-term velocity of the Siberian craton.

KEYWORDS: GPS data; GPS velocities; deformations; present-day displacement rates

FUNDING. The work was done with the help of equipment of the Large-Scale Research Facilities "South Baikal Instrumental Complex for Monitoring of Geological Hazards", which is a part of the Shared Research Facilities "Geodynamics and Geochronology" of the Institute of the Earth's Crust SB RAS (grant 075-15-2021-682).

RESEARCH ARTICLE

Correspondence: Sergei V. Ashurkov, ashurkov@crust.irk.ru

Received: December 6, 2021

Revised: January 27, 2022

Accepted: February 14, 2022

FOR CITATION: Ashurkov S.V., 2022. Strain rates for the Southern Siberian craton derived from GPS measurements. *Geodynamics & Tectonophysics* 13 (1), 0628. doi:10.5800/GT-2022-13-1-0628

ДЕФОРМАЦИИ ЮЖНОЙ ЧАСТИ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ ПО ДАННЫМ GPS-ИЗМЕРЕНИЙ

С.В. Ашурков

Институт земной коры СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия

АННОТАЦИЯ. В настоящей работе получены количественные оценки скоростей горизонтальных деформаций южной части Сибирской платформы по данным спутниковой геодезии. Количественно подтверждено теоретическое представление о низком уровне деформаций внутриплатформенных территорий (10^{-9} ×год⁻¹). В работе использовались «сырые» данные измерений из открытых источников, ранее опубликованные скорости смещений и данные измерений лаборатории современной геодинамики Института земной коры СО РАН. Показано, что из пяти рассматриваемых станций наблюдения, свободно предоставляемых компанией «EFT-CORS», пункт в г. Братске не может использоваться для оценки долгосрочной скорости смещения Сибирской платформы.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: данные GPS-измерений; деформации; современные скорости смещений

ФИНАНСИРОВАНИЕ: В работе задействовано оборудование УНУ «Южно-Байкальский инструментальный комплекс для мониторинга опасных геодинамических процессов», входящее в состав ЦКП «Геодинамика и геохронология» Института земной коры СО РАН (грант №075-15-2021-682).

1. ВВЕДЕНИЕ

Быстро расширяющийся спектр применения спутниковой геодезии в различных областях экономики, науки и повседневной жизни привел к появлению новых открытых источников данных GNSS наблюдений. Это дает возможности для расширения областей исследования и повышения плотности наблюдений существующих научных сетей. Одновременно с этим встает вопрос о соответствии качества новых данных требованиям высокоточных геодинамических исследований. Статья посвящена оценке скоростей деформаций южной части Сибирской платформы с использованием ряда пунктов федеральной сети базовых станций GNSS, предоставляемых компанией «EFT-CORS» [EFT-CORS..., 2021]. Дается оценка пригодности их применения в геодинамических построениях.

2. ДАННЫЕ GPS И ИХ ОБРАБОТКА

В настоящей работе, помимо собственных GPS-наблюдений, анализируются данные с пяти станций компании «EFT-CORS», расположенных в южной части Сибирской платформы. Это пункты в городах Ангарске (ANGR), Братске (BRTK), Иркутске (IRKU), Тулуне (TLUN) и Усолье-Сибирском (USIL). Информацию об условиях установки GNSS антенн компания не предоставляет, поэтому проблема применимости ее данных для геодинамических исследований требует особого внимания к результатам расчетов позиций этих станций во времени и является одной из задач настоящей работы.

Сбор данных наблюдений для перечисленных станций ведется с конца октября 2018 г. Это позволило построить временной ряд ежедневных позиций пунктов и оценить скорости смещений с учетом годовых и полугодовых (сезонных) циклов и отклонений различной природы.

Обработку измерений мы производили программным пакетом GAMIT/GLOBK, версия 10.7 [Herring et al.,

2018]. При расчетах использовался сигнал только от спутниковой группировки NAVSTAR GPS. На первом этапе обработки данных для каждого дня измерений с использованием дифференциальных фазовых наблюдений рассчитывались координаты пунктов, тропосферная задержка с интервалом два часа, а также фазовые неоднозначности. В решении применялись абсолютные вертикальные значения полного содержания электронов (ПЭС) в ионосфере в виде IONEX-файлов, предоставляемых информационной системой данных о динамике земной коры (CDDIS) [Noll, 2010], финальные орбиты спутников, предоставляемые Международной GNSS-службой (IGS), параметры ориентации вращения Земли (IERS), таблицы зависимостей фазовых центров антенн от азимута прихода и, если доступны, от угла места спутникового сигнала. В ежедневные решения включались 32 IGS станции для связи нашей сети с общеземной опорной системой координат ITRF2014 [Altamimi et al., 2017]. Далее полученные ежедневные решения объединились с ежедневными решениями SOPAC (Scripps Orbital and Position Analysis Center) для глобальных станций [SOPAC/CSRC..., 2021], одновременно связывая их с системой координат ITRF2014. На заключительном этапе строились временные ряды ежедневных позиций GPS-пунктов и рассчитывались скорости смещения, свободные от годовых и полугодовых циклов и отклонений различного генезиса (смена оборудования, землетрясения или неизвестные причины, выявленные в ходе анализа), с использованием утилиты TSVIEW [GAMIT/GLOBK..., 2021]. TSVIEW – программа, которая позволяет редактировать временной ряд GPS-станции и оценивать его качество. Это значительно облегчает удаление некондиционных данных и устраняет их влияние на расчет скорости. В результате получены скорости, свободные от сезонных колебаний и разовых резких смещений. Временные ряды пяти станций компании «EFT-CORS» приведены в Прил. 1.

Для оценки погрешности скорости смещения применялся алгоритм «Realistic sigma», рассматривающий временной ряд оцениваемого параметра как случайный процесс Гаусса-Маркова первого порядка. Применение этого алгоритма дает более объективные значения ошибок, нежели применение к временному ряду модели «белого шума». Модель «белого шума» почти неизменно приводит к очень оптимистичным оценкам погрешностей параметров. Разница между двумя подходами составляет от 2 до 6 раз [Herring, 2003; Lidberg et al., 2010].

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ СКОРОСТИ СМЕЩЕНИЙ GPS-ПУНКТОВ

Полученное поле скоростей было объединено с опубликованными результатами из работы [Lukhnev et al., 2010]. Для этого на основе пяти общих пунктов, имеющих длительный ряд наблюдений в обоих решениях, были рассчитаны параметры трансляции и вращения между полями скоростей. Полученные значения использовались для трансформации опубликованных скоростей к собственному решению. В результате объединения среднеквадратическое отклонение (СКО) между двумя решениями составило 0.27 мм/год. Финальные значения современных скоростей смещений приведены в табл. 1.

В результате расчета скоростей смещения для станции BRTK получены значительные ошибки: ± 1.6 и ± 0.53 мм/год для направлений восток – запад и север – юг соответственно (рис. 1; табл. 1). Анализ временного ряда показывает, что изменение во времени позиции станции в горизонтальной плоскости плохо описывается с помощью годового и полугодового сезонных циклов (Прил. 1). Эти обстоятельства указывают на то, что пункт BRTK подвержен воздействию сил, имеющих краткосрочное, неустойчивое во времени, влияние. Такие отклонения невозможно отфильтровать без дополнительной информации об этих силах.

4. СКОРОСТИ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ПО ДАННЫМ GPS-ИЗМЕРЕНИЙ

На основе приведенных выше скоростей современных горизонтальных движений были рассчитаны скорости дилатации, вращений и горизонтальных деформаций в двух вариантах, с использованием станции BRTK (рис. 2, 3; Прил. 2, табл. 2.1) и без нее (рис. 4, 5; Прил. 2, табл. 2.2).

При расчете скоростей деформаций для близко расположенных GPS-пунктов использовались медианные значения позиций, скоростей смещения и их ошибок (табл. 1). В частности, медиана рассчитывалась для двух групп станций. Первая группа расположена в черте

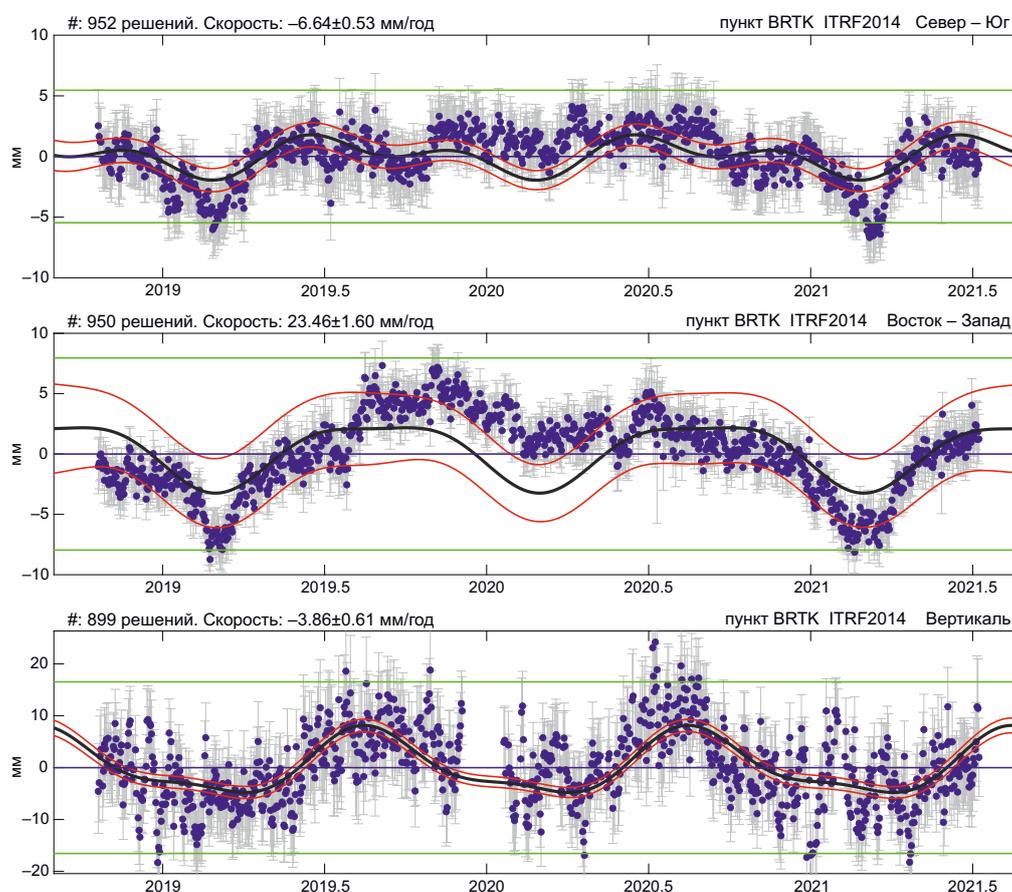


Рис. 1. Временной ряд позиций (линейный тренд удален) станции BRTK (г. Братск).

Fig. 1. Time series plot showing the positions (linear trend removed) of BRTK station (Bratsk city).

Таблица 1. Скорости смещений GPS-пунктов относительно общеземного отсчетного основания ITRF2014
Table 1. GPS velocities relative to International Terrestrial Reference Frame 2014 (ITRF2014)

Долгота, град.	Широта, град.	Скорость В-З, мм/год	Скорость С-Ю, мм/год	Ошибка В-З, мм/год	Ошибка С-Ю, мм/год	Верт. скорость, мм/год	Ошибка верт., мм/год	GPS-пункт	Источник
103.85	52.50	25.38	-6.01	0.08	0.10	0.46	0.59	ANGR_GPS	«EFT-CORS»
101.60	56.19	23.46	-6.64	1.60	0.53	-3.86	0.61	BRTK_GPS	«EFT-CORS»
104.32	52.22	25.51	-6.63	0.06	0.02	-0.22	0.17	IRKJ_GPS	«IGS»
104.32	52.22	24.88	-6.31	0.05	0.09	1.55	0.16	IRKM_GPS	«IGS»
104.32	52.22	25.49	-6.88	0.13	0.03	0.00	0.10	IRKT_GPS	«IGS»
104.32	52.27	24.84	-6.34	0.10	0.14	1.00	0.31	IRKU_GPS	«EFT-CORS»
104.32	52.22	25.19	-6.49	0.08	0.06	0.50	0.17	IRKT_MDN*	-
92.79	55.99	25.01	-3.73	0.25	0.24	1.24	0.40	KSTU_GPS	«IGS»
103.74	51.77	25.70	-6.25	0.12	0.16	1.58	0.90	KULT_GPS	«ИЗК СО РАН»
106.35	52.76	25.70	-7.13	0.12	0.27	2.09	0.18	TIRG_GPS	«ИЗК СО РАН»
100.58	54.56	25.06	-4.93	0.11	0.08	0.22	0.39	TLUN_GPS	«EFT-CORS»
102.77	57.95	25.14	-5.48	0.11	0.11	1.67	0.34	USIL_GPS	«EFT-CORS»
103.22	52.26	25.12	-6.45	0.20	0.20	-2.72	2.15	HADR_GPS	«ИЗК СО РАН»
105.17	54.77	24.84	-6.27	0.46	0.57	-0.95	1.66	Z001_GPS	«ИЗК СО РАН»
105.16	54.75	24.78	-6.41	0.44	0.51	-1.21	1.56	Z003_GPS	«ИЗК СО РАН»
105.17	54.76	25.20	-6.30	0.52	0.63	-1.58	2.01	Z004_GPS	«ИЗК СО РАН»
105.17	54.76	24.84	-6.30	0.46	0.57	-1.21	1.66	Z000_MDN*	-
105.57	54.09	25.01	-6.21	0.35	0.3	-38.75	9.01	LNSK_GPS	[Lukhnev et al., 2010]
104.89	51.85	26.55	-7.15	0.59	0.52	-13.39	3.87	LIST_GPS	[Lukhnev et al., 2010]
105.50	53.06	24.10	-5.99	0.24	0.25	-26.90	6.19	BAYA_GPS	[Lukhnev et al., 2010]

Примечание. MDN* – медианные значения позиций, скоростей смещения и их ошибок для близко расположенных GPS-пунктов.
 Note. MDN* – median values of locations, velocities and errors for closely spaced GPS sites.

г. Иркутска и состоит из четырех станций (IRKJ, IRKM, IRKT, IRKU). Вторую группу составили три станции (Z000, Z003, Z004), расположенные в окрестностях пос. Жигалово.

Вся территория была разбита на триангуляционную сеть, узлы которой соответствуют пунктам GPS-наблюдений. С помощью программного пакета QOCA [Dong et al., 1998] для каждого треугольника была рассчитана скорость главных деформаций, направления их осей и скорость вращения. Скорости дилатации (см. рис. 2, 4) получены с помощью метода, описанного в работе [Hackl et al., 2009]. Для широтной и долготной компонент поля скоростей проводится сплайн-интерполяция с шагом 30 км, и далее производятся все необходимые расчеты для каждой точки. Эта операция позволила более реалистично отобразить результаты в области с низкой плотностью пунктов. Оба способа применялись автором ранее в работах [Ashurkov et al., 2016; Imaeva et al., 2017], в которых также можно найти их более подробное описание.

5. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Как можно видеть, в северной части исследуемой территории (см. рис. 2, 4) включение станции BRTK в

расчеты скоростей деформации приводит к увеличению на порядок значений скорости дилатации – с фоновых $<|3| \times 10^{-9} \times \text{год}^{-1}$ до $\approx |3| \times 10^{-8} \times \text{год}^{-1}$. Максимальное значение главных скоростей деформаций $|2.4| \times 10^{-9} \times \text{год}^{-1}$ в модели без станции BRTK возрастает до $|1.2| \times 10^{-8} \times \text{год}^{-1}$ с ее включением (Прил. 2, табл. 2.1, табл. 2.2). Скорость вращения в модели с использованием станции BRTK значительно увеличивается только в самом северном сегменте. В целом скорости вращения внутриплатформенного участка минимальны в обоих случаях, и смена направлений вращения, которую мы наблюдаем, перекрывается уровнем ошибки скорости вращения или приближается к нему (см. рис. 3, 5; Прил. 2, табл. 2.1, табл. 2.2).

Необходимо отметить, что при расчетах однородной деформации методом [Dong et al., 1998] в специфических условиях возможен эффект занижения значения скорости деформаций при увеличении длины базовых линий. Такой эффект проявляется тогда, когда разница между скоростями смещений станций представляет собой шум, т.е. поле скоростей близко к «однородному».

Можно предположить, что включение станции BRTK уменьшает расстояние между станциями и тем самым

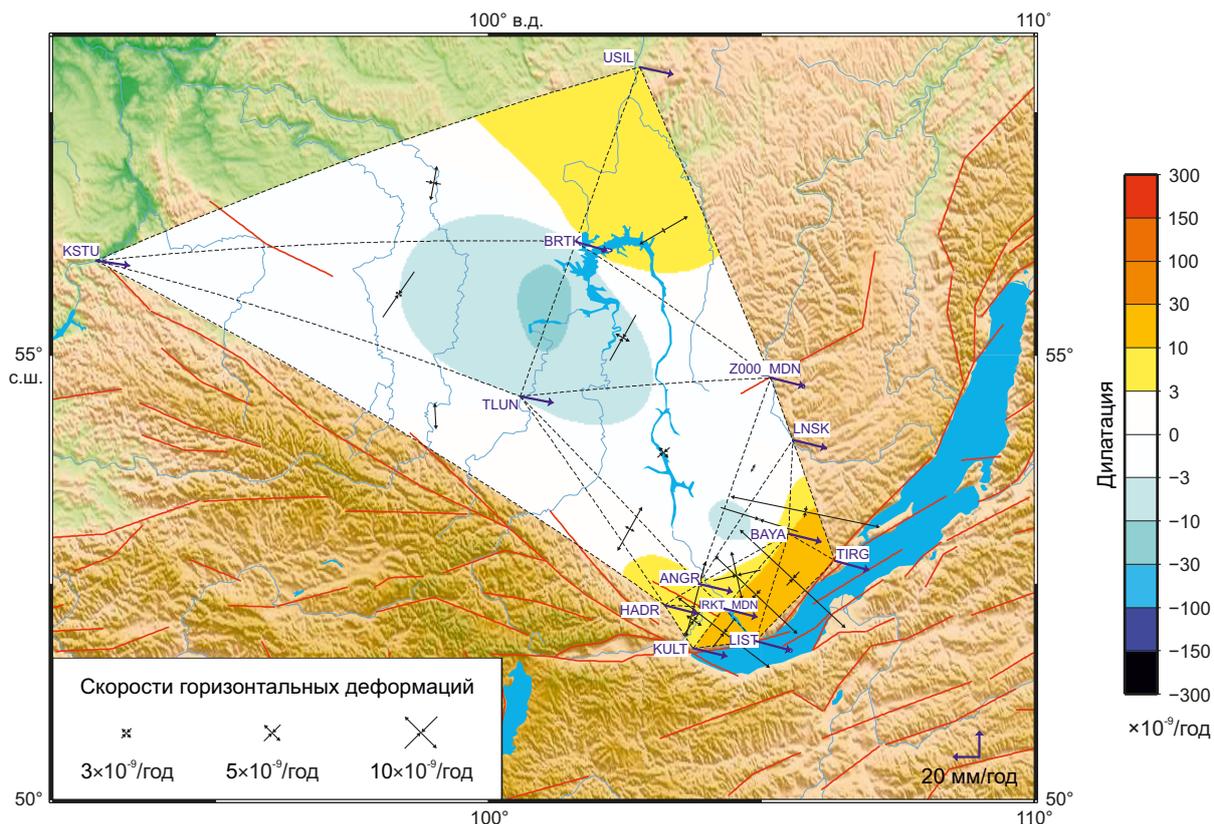


Рис. 2. Скорости дилатации и главных деформаций.
 Fig. 2. Dilatation and strain rates.

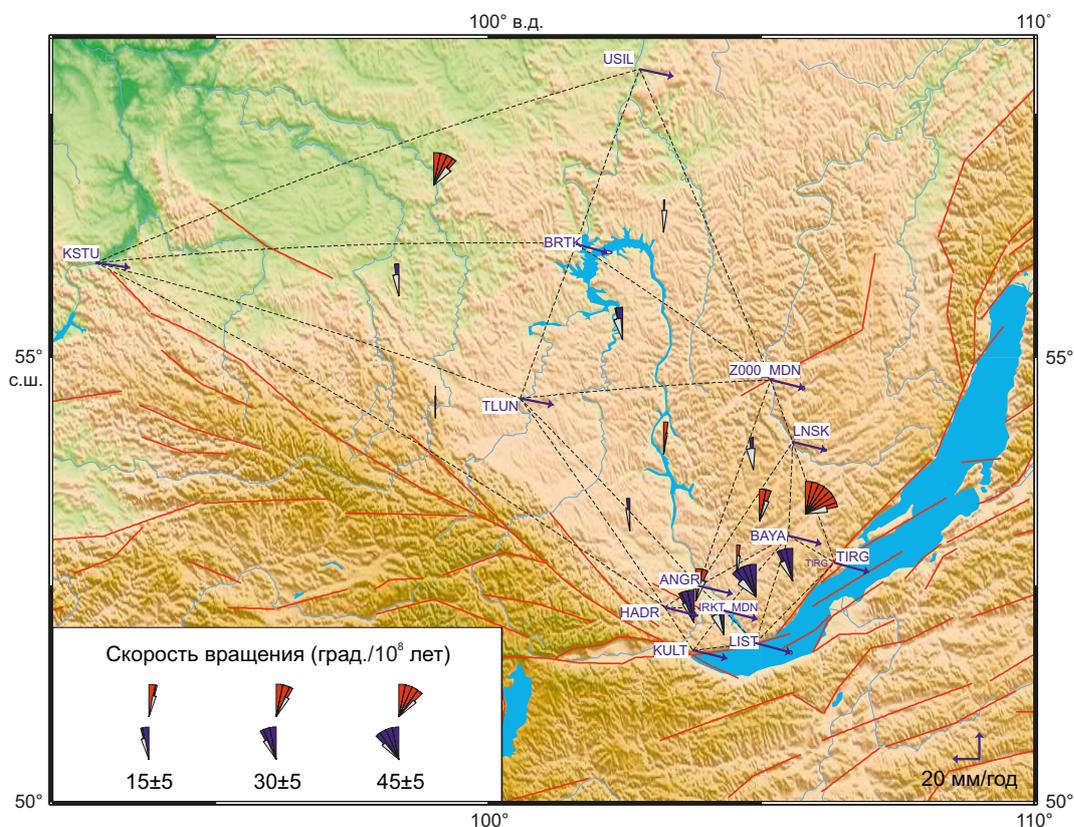


Рис. 3. Скорости вращения.
 Fig. 3. Rotation rates.

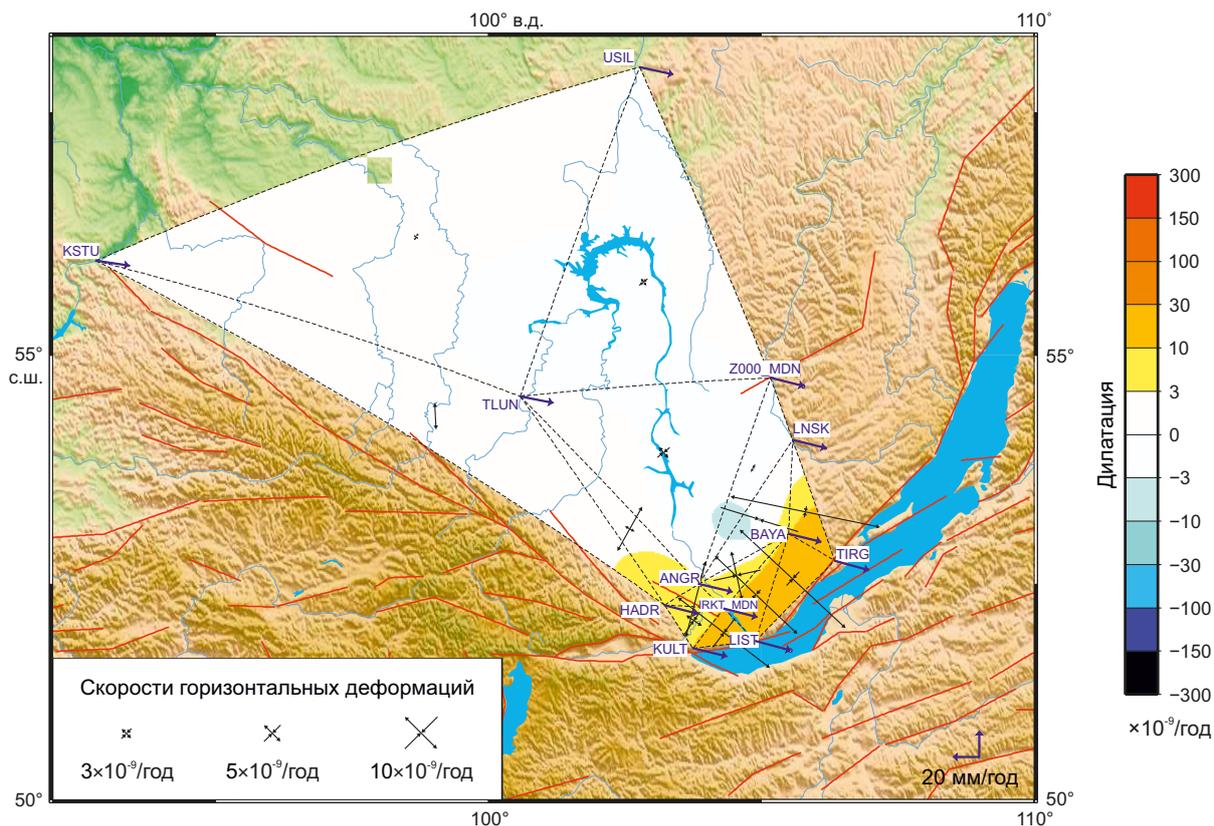


Рис. 4. Скорости дилатации и главных деформаций без станции BRTK.

Fig. 4. Dilatation and strain rates without BRTK site.

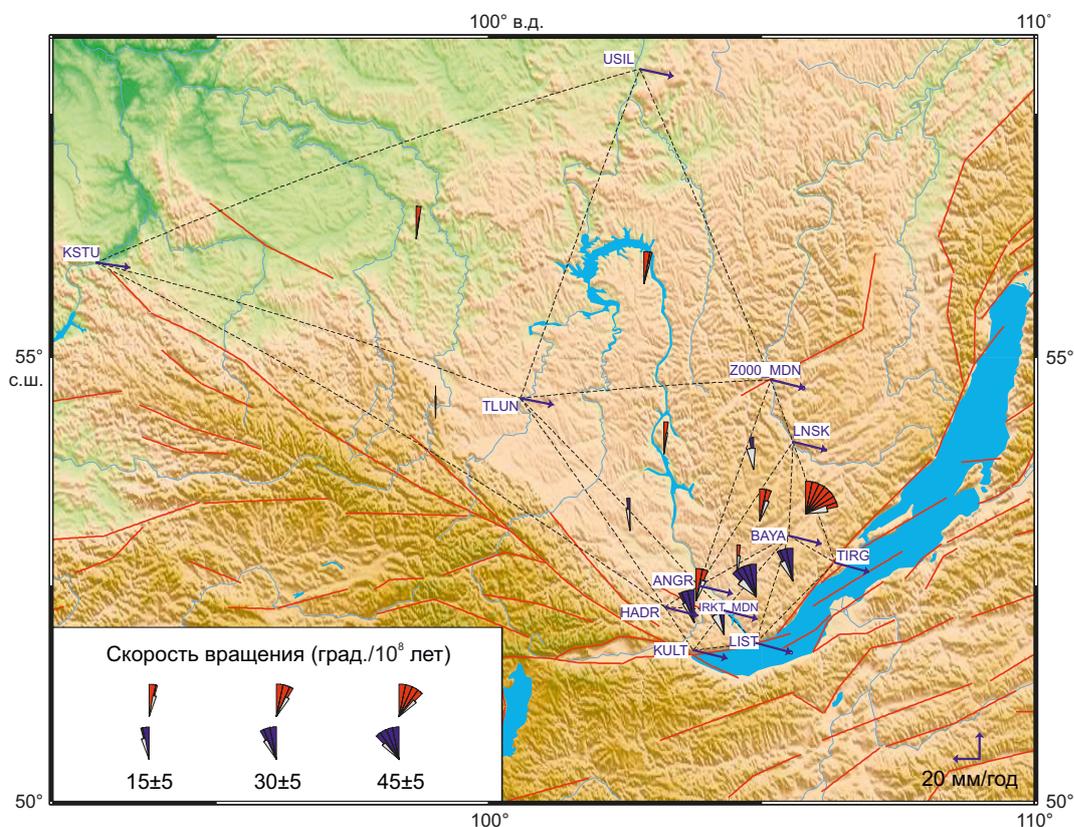


Рис. 5. Скорости вращения без станции BRTK. Красными линиями обозначены разломы [Imaeva et al, 2015].

Fig. 5. Rotation rates without BRTK site. Red lines show the faults [Imaeva et al, 2015].

искусственно завышает значения скорости деформаций. Однако расчет скорости дилатации проводился другим методом [Hackl et al., 2009]. Исходное поле скоростей интерполировалось методом сплайнов с шагом 30 км, и значения тензора деформации рассчитывались для точек через каждые 30 км. Из рис. 2, 4 мы видим, что включение станции BRTK также приводит к возрастанию скорости дилатации с $<|3| \times 10^{-9} \times \text{год}^{-1}$ до $\approx |3| \times 10^{-8} \times \text{год}^{-1}$. Таким образом, нельзя объяснить повышение скоростей деформаций только уменьшением расстояния между пунктами.

Отчетливо прослеживается увеличение скоростей деформации и смена направлений вращений от тектонически стабильной платформы к активным структурам Байкальской рифтовой системы. Фрагменты триангуляционной сети с вращением по часовой стрелке четко отделены от фрагментов с обратным вращением (рис. 5). Значения скоростей дилатации возрастают от $<|3| \times 10^{-9} \times \text{год}^{-1}$ до $\approx |3| \times 10^{-8} \times \text{год}^{-1}$. Значения максимальных скоростей удлинения, характерные для территорий вдоль активных разломов, обрамляющих впадину оз. Байкал, составляют $\approx 3 \times 10^{-8} \times \text{год}^{-1}$, а оси имеют выраженную СЗ-ЮВ направленность, что качественно и количественно близко к результатам, полученным в работе [Lukhnev et al., 2010; Sankov et al., 2014]. В самой юго-западной части полигона (LIST-KULT-IRKT; IRKT-HADR-KULT) отмечается увеличение вклада деформаций укорочения, оси которых ориентированы в ЮЗ-СВ направлении, тем самым меняя тип режима деформирования с чистого растяжения на транспрессию и сдвиг. Данную особенность можно также проследить в работе [Lukhnev et al., 2010]. По направлению в глубь платформы скорости удлинения падают и в районе условного пояса между пунктами TLUN-ANGR составляют $7.8 \times 10^{-10} \times \text{год}^{-1} - 1.1 \times 10^{-8} \times \text{год}^{-1}$, а направления главных осей теряют определенную направленность.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Независимо от природы вариаций во временном ряду станции Братск (BRTK), она не может использоваться для оценки долговременной скорости движения Сибирской платформы.

Данные наблюдений с четырех станций ANGR, IRKU, TLUN и USIL, свободно предоставляемых компанией «EFT-CORS», соответствуют требованиям точности для геодинимических построений.

Полученные скорости деформаций южной части Сибирской платформы хорошо согласуются с ожидаемым низким уровнем деформаций ($\times 10^{-9} \times \text{год}^{-1}$), характерным для внутриплатформенных территорий, обладающих мощной литосферой. Согласно [Seredkina et al., 2016] мощность литосферы под Сибирской платформой достигает 200 км.

7. БЛАГОДАРНОСТИ

Автор благодарит ведущего инженера лаборатории современной геодинимики В.Ю. Буддо за помощь в сборе GPS-данных.

8. КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ / CONFLICT OF INTERESTS

Автор заявляет об отсутствии у него конфликта интересов. Автор прочитал рукопись и согласен с опубликованной версией.

The author has no conflicts of interest to declare. The author has read and agreed to the published version of the manuscript.

9. ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

Altamimi Z., Métivier L., Reischung P., Roubay H., Collilieux X., 2017. ITRF2014 Plate Motion Model. *Geophysical Journal International* 209 (3), 1906–1912. <https://doi.org/10.1093/gji/ggx136>.

Ashurkov S.V., Sankov V.A., Serov M.A., Luk'yanov P.Y., Grib N.N., Bordonskii G.S., Dembelov M.G., 2016. Evaluation of Present-Day Deformations in the Amurian Plate and Its Surroundings, Based on GPS Data. *Russian Geology and Geophysics* 57 (11), 1626–1634. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2016.10.008>.

Dong D., Herring T.A., King R.W., 1998. Estimating Regional Deformation from a Combination of Space and Terrestrial Geodetic Data. *Journal of Geodesy* 72, 200–214. <https://doi.org/10.1007/s001900050161>.

EFT-CORS Federal Network of Base Stations, 2021. Available from: <https://eft-cors.ru/> (Last Accessed December 6, 2021).

GAMIT/GLOBK Matlab Tools, 2021. Available from: <http://www-gpsg.mit.edu/~tah/GGMatlab/> (Last Accessed December 6, 2021).

Hackl M., Malservisi R., Wdowinski S., 2009. Strain Rate Patterns from Dense GPS Networks. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 9 (4), 1177–1187. <https://doi.org/10.5194/nhess-9-1177-2009>.

Herring T., 2003. MATLAB Tools for Viewing GPS Velocities and Time Series. *GPS Solutions* 7, 194–199. <https://doi.org/10.1007/s10291-003-0068-0>.

Herring, T.A., King R.W., Floyd M., McClusky S.C., 2018. Introduction to GAMIT/GLOBK. Release 10.7. Technical Report. Massachusetts Institute of Technology, 54 p. Available from: http://geoweb.mit.edu/gg/Intro_GG.pdf (Last Accessed December 07, 2021).

Imaeva L.P., Gusev G.S., Imaev V.S., Ashurkov S.V., Melnikova V.I., Seredkina A.I., 2017. Geodynamic Activity of Modern Structures and Tectonic Stress Fields in Northeast Asia. *Geodynamics & Tectonophysics* 8 (4), 737–768 (in Russian) [Имаева Л.П., Гусев Г.С., Имаев В.С., Ашурков С.В., Мельникова В.И., Середкина А.И. Геодинимическая активность новейших структур и поля тектонических напряжений северо-востока Азии // Геодинимика и тектонофизика. 2017. Т. 8. № 4. С. 737–768]. <https://doi.org/10.5800/GT-2017-8-4-0315>.

Imaeva L.P., Imaev V.S., Gusev G.S., Smekalin O.P., Koloдеznikov I.I., Grib N.N., Koz'min B.M., 2015. Seismotectonics Map of East Siberia: New Principles and Methods of Mapping. *Herald of the Earth Sciences Department of RAS* 7, NZ2001 (in Russian) [Имаева Л.П., Имаев В.С., Гусев Г.С., Смекалин О.П., Колодезников И.И., Гриб Н.Н., Козьмин Б.М.

Карта сейсмоструктуры Восточной Сибири: новые принципы и методы построения. Вестник Отделения наук о Земле РАН. 2015. Т. 7. № NZ2001]. <https://doi.org/10.2205/2015NZ000125>.

Lidberg M., Johansson J.M., Scherneck H., Milne G.A., 2010. Recent Results Based on Continuous GPS Observations of the GIA Process in Fennoscandia from BIFROST. *Journal of Geodynamics*. 50 (1), 8–18. <https://doi.org/10.1016/j.jog.2009.11.010>.

Lukhnev A.V., Sankov V.A., Miroshnichenko A.I., Ashurkov S.V., Calais E., 2010. GPS Rotation and Strain Rates in the Baikal-Mongolia Region. *Russian Geology and Geophysics* 51 (7), 785–793. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2010.06.006>.

Noll C., 2010. The Crustal Dynamics Data Information System: A Resource to Support Scientific Analysis Using

Space Geodesy. *Advances in Space Research* 45 (12), 1421–1440. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2010.01.018>.

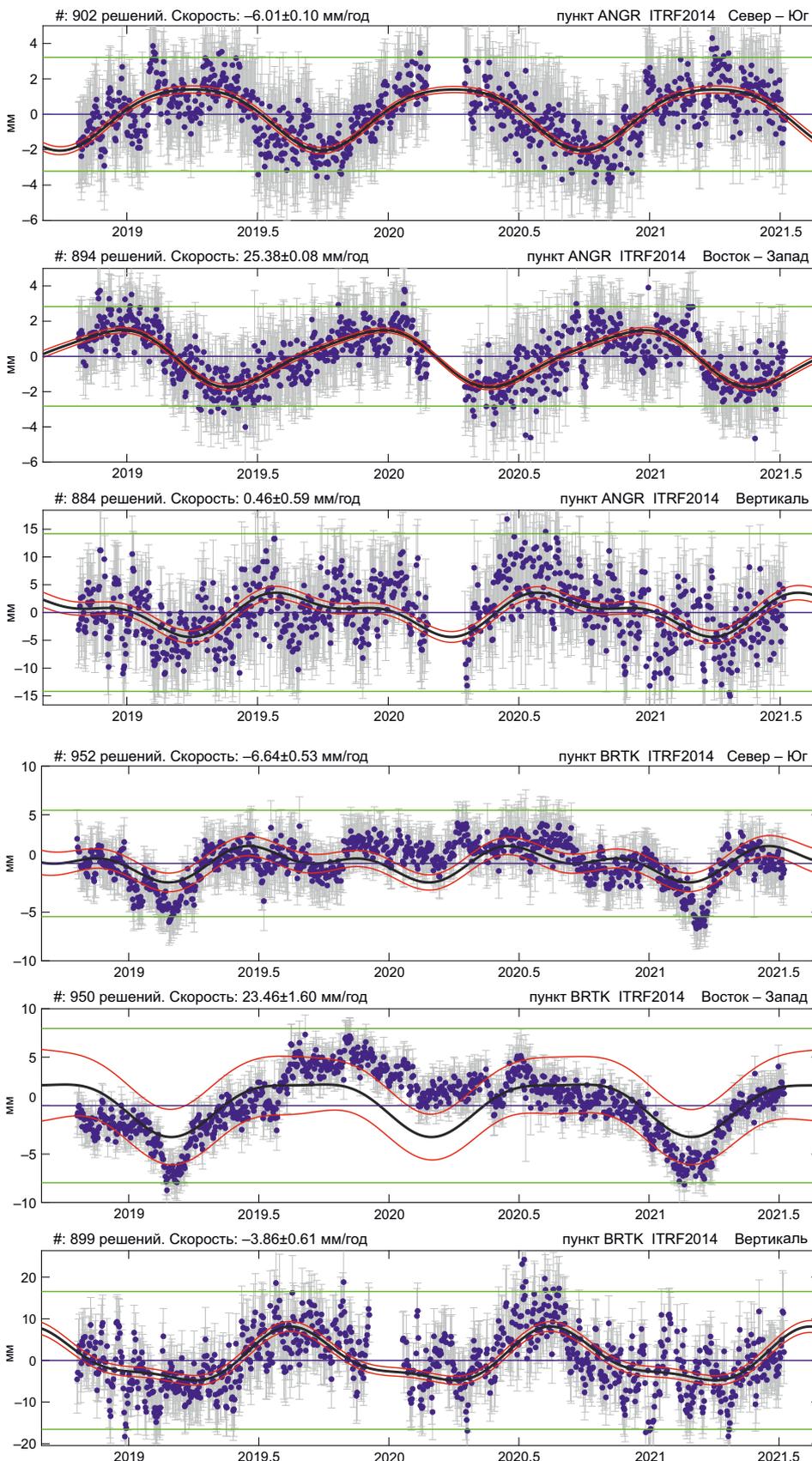
Sankov V.A., Lukhnev A.V., Miroshnichenko A.I., Dobrynina A.A., Ashurkov S.V., Byzov L.M., Dembelov M.G., Calais E., Déverchère J., 2014. Contemporary Horizontal Movements and Seismicity of the South Baikal Basin (Baikal Rift System). *Izvestiya, Physics of the Solid Earth* 50, 785–794. <https://doi.org/10.1134/S106935131406007X>.

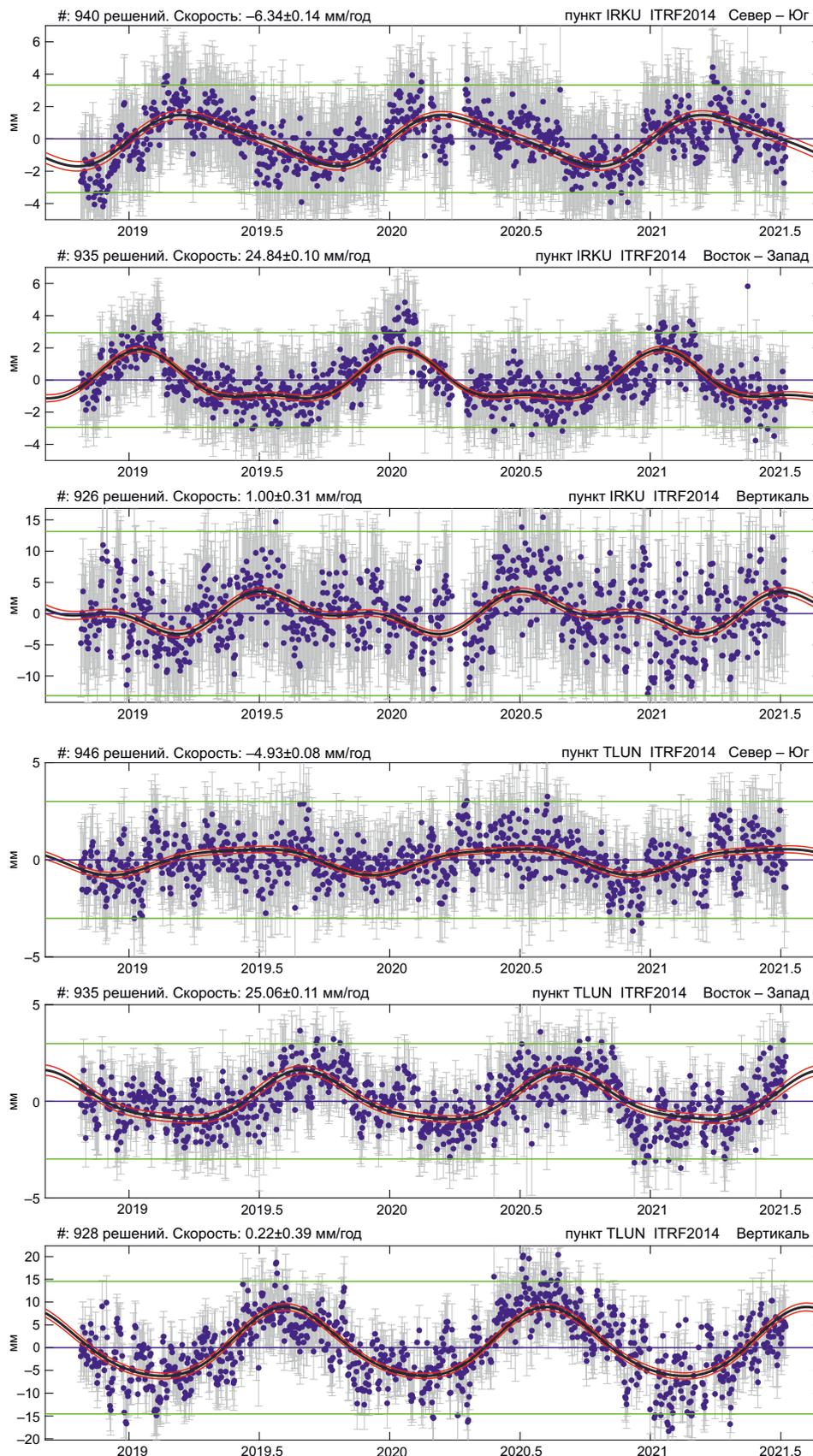
Seredkina A., Kozhevnikov V., Melnikova V., Solovey O., 2016. Seismicity and S-Wave Velocity Structure of the Crust and the Upper Mantle in the Baikal Rift and Adjacent Regions. *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 216 (B), 152–160. <https://doi.org/10.1016/j.pepi.2016.10.011>.

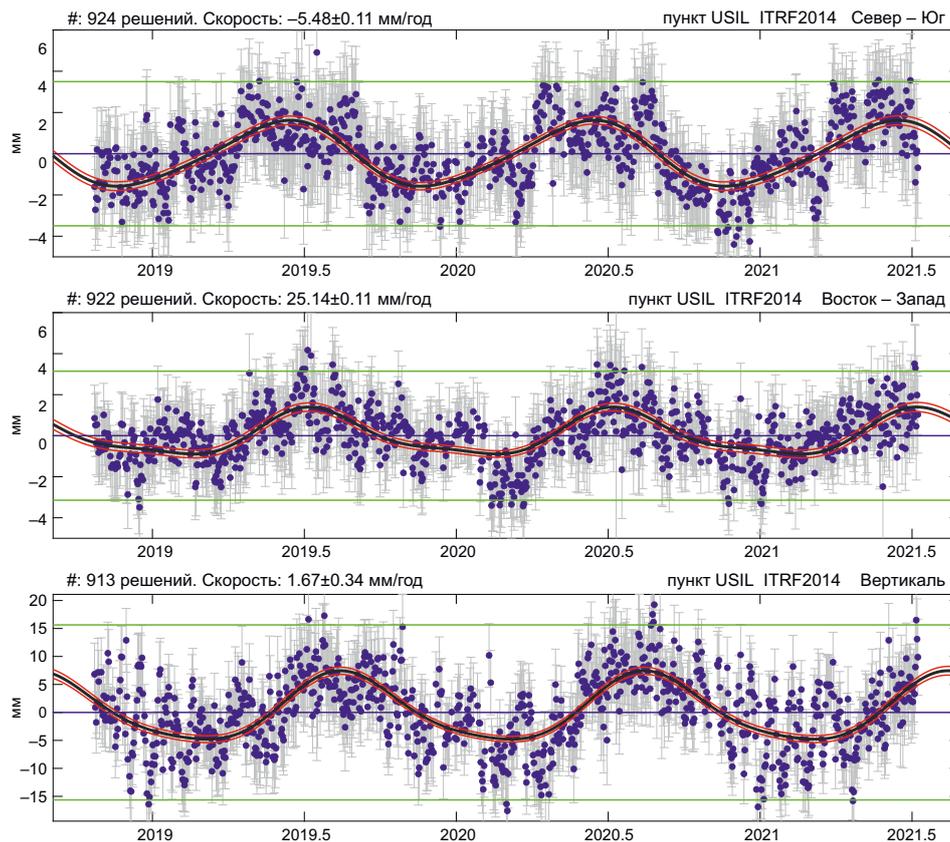
SOPAC/CSRC Garner GPS Archive, 2021. Available from: <http://garner.ucsd.edu/> (Last Accessed December 6, 2021).

ПРИЛОЖЕНИЕ 1 / APPENDIX 1

ВРЕМЕННЫЕ РЯДЫ ПОЗИЦИЙ GPS-СТАНЦИЙ (ЛИНЕЙНЫЙ ТРЕНД УДАЛЕН)
TIME SERIES PLOT SHOWING THE POSITIONS (LINEAR TREND REMOVED) OF GPS STATIONS







ПРИЛОЖЕНИЕ 2 / APPENDIX 2

Таблица 2.1. Скорости относительных горизонтальных деформаций со станцией BRTK

Table 2.1. Horizontal strain rates with BRTK site

Долгота, град.	Широта, град.	ε_1	$\sigma\varepsilon_1$	ε_2	$\sigma\varepsilon_2$	Ω	$\sigma\Omega$	θ	$\sigma\theta$	GPS-пункты вершины треугольников
		1/год	1/год	1/год	1/год	1/год	1/год	град.	град.	
98.9882	56.7902	7.86E-09	1.15E-09	-3.32E-09	1.68E-09	7.38E-09	1.67E-09	100.3419	8.96E+00	KSTU-BRTK-USIL
103.2113	56.3083	1.24E-08	3.58E-09	1.49E-09	6.54E-10	2.50E-10	1.09E-09	-30.2807	1.08E+01	USIL-BRTK-Z000
98.3481	55.6443	1.81E-09	7.08E-10	-1.22E-08	1.86E-09	-1.38E-09	1.46E-09	34.3855	2.15E+00	BRTK-TLUN-KSTU
102.4570	55.1866	3.56E-09	1.80E-09	-1.16E-08	1.61E-09	-2.45E-09	1.73E-09	29.1292	4.35E+00	BRTK-Z000-TLUN
104.9645	53.2179	-4.49E-10	8.75E-10	-1.77E-08	1.77E-09	3.60E-09	9.70E-10	107.2172	3.39E+00	LNSK-ANGR-BAYA
105.8099	53.3043	3.34E-08	2.02E-09	-2.43E-09	1.51E-09	1.35E-08	1.52E-09	11.6509	2.31E+00	BAYA-LNSK-TIRG
105.5752	52.5572	3.16E-08	1.84E-09	-4.09E-09	1.50E-09	-5.05E-09	1.27E-09	43.1426	1.71E+00	TIRG-LIST-BAYA
104.8996	52.3760	2.48E-08	3.71E-09	-2.76E-09	7.63E-10	-7.92E-09	1.79E-09	43.6337	3.84E+00	BAYA-IRKT-LIST
104.3170	51.9446	2.55E-08	3.77E-09	-7.87E-09	9.29E-10	-4.26E-09	1.81E-09	37.6271	3.29E+00	LIST-KULT-IRKT
103.7613	52.0819	4.08E-09	1.29E-09	-7.89E-09	9.68E-10	-4.77E-09	7.56E-10	34.0678	3.99E+00	IRKT-HADR-KULT
103.7963	52.3254	1.72E-08	1.86E-09	3.60E-10	9.13E-10	3.61E-09	9.73E-10	104.4093	3.42E+00	HADR-ANGR-IRKT
104.5505	52.5932	1.09E-08	9.27E-10	-1.05E-08	7.45E-10	9.32E-10	6.33E-10	77.5740	1.64E+00	ANGR-IRKT-BAYA
104.8494	53.7846	7.79E-10	3.81E-09	-1.76E-09	4.60E-10	-1.15E-09	1.92E-09	28.5497	4.22E+01	ANGR-Z000-LNSK
103.2060	53.9547	3.21E-09	1.56E-10	-3.44E-09	8.13E-10	1.36E-09	4.22E-10	49.2443	3.50E+00	ANGR-TLUN-Z000
102.5830	53.1139	1.11E-08	1.56E-09	2.36E-09	5.52E-10	-9.68E-10	8.28E-10	119.0613	5.45E+00	ANGR-TLUN-HADR
99.0186	54.3514	5.85E-09	4.83E-10	6.90E-12	3.76E-10	6.74E-11	3.15E-10	87.1294	3.11E+00	HADR-TLUN-KSTU

Примечание. ε_1 – скорость максимального удлинения; $\sigma\varepsilon_1$ – стандартное отклонение скорости максимального удлинения; ε_2 – скорость максимального укорочения; $\sigma\varepsilon_2$ – стандартное отклонение скорости максимального укорочения; Ω – вращение в триангуляционной подсети GPS-пунктов (в радианах), положительное значение – вращение по часовой стрелке; $\sigma\Omega$ – стандартное отклонение вращения (в радианах); θ – азимут оси максимального укорочения; $\sigma\theta$ – стандартное отклонение.

Note. ε_1 – maximum elongation rate; $\sigma\varepsilon_1$ – standard deviation of the maximum elongation rate; ε_2 – maximum shortening rate; $\sigma\varepsilon_2$ – standard deviation of the maximum shortening rate; Ω – rotation in the GPS triangulation sub-mesh (radian) (positive value – clockwise rotation); $\sigma\Omega$ – standard deviation of rotation (radian); θ – azimuth of the maximum shortening axis; $\sigma\theta$ – standard deviation.

Таблица 2.2. Скорости относительных горизонтальных деформаций без станции BRTK

Table 2.2. Horizontal strain rates without BRTK site

Долгота, град.	Широта, град.	ε_1	$\sigma\varepsilon_1$	ε_2	$\sigma\varepsilon_2$	Ω	$\sigma\Omega$	θ	$\sigma\theta$	GPS-пункты вершины треугольников
		1/год	1/год	1/год	1/год	1/год	1/год	град.	град.	
98.6681	56.2415	1.09E-09	1.92E-10	-1.53E-09	1.27E-10	1.41E-09	1.16E-10	36.5022	2.50E+00	KSTU-USIL-TLUN
102.8368	55.7713	1.89E-09	6.27E-10	-2.38E-09	3.87E-10	2.58E-09	3.89E-10	52.2820	4.74E+00	TLUN-USIL-Z000
104.9645	53.2179	-4.49E-10	8.75E-10	-1.77E-08	1.77E-09	3.60E-09	9.70E-10	107.2172	3.39E+00	LNSK-ANGR-BAYA
105.8099	53.3043	3.34E-08	2.02E-09	-2.43E-09	1.51E-09	1.35E-08	1.52E-09	11.6509	2.31E+00	BAYA-LNSK-TIRG
105.5752	52.5572	3.16E-08	1.84E-09	-4.09E-09	1.50E-09	-5.05E-09	1.27E-09	43.1426	1.71E+00	TIRG-LIST-BAYA
104.8996	52.3760	2.48E-08	3.71E-09	-2.76E-09	7.63E-10	-7.92E-09	1.79E-09	43.6337	3.84E+00	BAYA-IRKT-LIST
104.3170	51.9446	2.55E-08	3.77E-09	-7.87E-09	9.29E-10	-4.26E-09	1.81E-09	37.6271	3.29E+00	LIST-KULT-IRKT
103.7613	52.0819	4.08E-09	1.29E-09	-7.89E-09	9.68E-10	-4.77E-09	7.56E-10	34.0678	3.99E+00	IRKT-HADR-KULT
103.7963	52.3254	1.72E-08	1.86E-09	3.60E-10	9.13E-10	3.61E-09	9.73E-10	104.4093	3.42E+00	HADR-ANGR-IRKT
104.5505	52.5932	1.09E-08	9.27E-10	-1.05E-08	7.45E-10	9.32E-10	6.33E-10	77.5740	1.64E+00	ANGR-IRKT-BAYA
104.8494	53.7846	7.79E-10	3.81E-09	-1.76E-09	4.60E-10	-1.15E-09	1.92E-09	28.5497	4.22E+01	ANGR-Z000-LNSK
103.2060	53.9547	3.21E-09	1.56E-10	-3.44E-09	8.13E-10	1.36E-09	4.22E-10	49.2443	3.50E+00	ANGR-TLUN-Z000
102.5830	53.1139	1.11E-08	1.56E-09	2.36E-09	5.52E-10	-9.68E-10	8.28E-10	119.0613	5.45E+00	ANGR-TLUN-HADR
99.0186	54.3514	5.85E-09	4.83E-10	6.90E-12	3.76E-10	6.74E-11	3.15E-10	87.1294	3.11E+00	HADR-TLUN-KSTU

Примечание. См. примечание к табл. 2.1.

Note. See note to table 2.1.