

## ТАЛАС-ФЕРГАНА ЖАРАКАСЫНЫН ЗАМАНБАП ДИНАМИКАСЫ

Исмаилов М.К.<sup>1</sup>, Зубович А.В.<sup>2</sup>, Кудабаев М.Д.<sup>3</sup>

<sup>(1)</sup> Н.Исанов атындагы КМКТАУнун “Геодезия жана геоинформатика” кафедрасынын студенти, [marat.ismailov889@gmail.com](mailto:marat.ismailov889@gmail.com)

<sup>(2)</sup> Борбордук-Азиялык Жерди прикладдык изилдөө институту(БЖПНИИ) №3 бөлүмүнүн баичысы, ф-м.и.к., [a.zubovich@caiaq.kg](mailto:a.zubovich@caiaq.kg)

<sup>(3)</sup> Н.Исанов атындагы КМКТАУнун “Геодезия жана геоинформатика” кафедрасынын ага окутуучусу, [mirlan-kudabayev1967@mail.ru](mailto:mirlan-kudabayev1967@mail.ru)

**Аннотация.** Макала спутниктик геодезиялык маалыматтарды, маалыматтарды иштеп чыгуунун математикалык ыкмаларын жана өлчөөнүн натыйжаларын иштеп чыгуу үчүн адистештирилген программалык китепканаларды колдонуу менен Талас-Фергана жаракасынын заманбап динамикасын изилдөөгө арналган. Геодезиялык байкоо тармагынын сүрөттөмөсү, баытаткы мааниси, маалыматтарды иштеп чыгуу баскычтары жана эсептөө натыйжалары келтирилген. Натыйжалар, жарака боюнча сызыктуу жылышы практика жүзүндө дээрлик байкалбайт, ал эми перпендикулярдуу жылышы жыл сайын болжол менен 3 мм деп жыыйынтык чыгарууга мүмкүндүк берет. Региондо тектоникалык стресстин топтолушу жөнүндө божомол келтирилген.

**Өзөктүү сөздөр:** Талас-Фергана жаракасы; сызыктуу тенденция; GPS; GAMIT; GLOBK; Python; pandas; ылдамдык; спутниктик геодезия.

## СОВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА ТАЛАСО-ФЕРГАНСКОГО РАЗЛОМА

Исмаилов М.К.<sup>1</sup>, Зубович А.В.<sup>2</sup>, Кудабаев М.Д.<sup>3</sup>

<sup>(1)</sup> студент каф. «Геодезия и геоинформатика» КГУСТА им. Н. Исанова, [marat.ismailov889@gmail.com](mailto:marat.ismailov889@gmail.com)

<sup>(2)</sup> руководитель отдела №3 Центрально-Азиатского Института прикладных Исследований Земли (ЦАИИЗ), к.ф-м.н., [a.zubovich@caiaq.kg](mailto:a.zubovich@caiaq.kg)

<sup>(3)</sup> старший преподаватель каф. “Геодезия и геоинформатика” КГУСТА им. Н. Исанова, [mirlan-kudabayev1967@mail.ru](mailto:mirlan-kudabayev1967@mail.ru)

**Аннотация.** Статья посвящена исследованию современной динамики Таласо-Ферганского разлома с использованием данных спутниковой геодезии, математических методов обработки данных и специализированных программных библиотек для обработки результатов измерений. Приводится описание геодезической сети наблюдения, исходных значений, этапов обработки данных и результатов вычислений. Результаты позволяют сделать выводы о том, что линейный сдвиг вдоль разлома практически отсутствует, а перпендикулярный сдвиг составляет около 3 мм/год. Выдвигается предположение о накоплении тектонического напряжения в регионе.

**Ключевые слова:** Таласо-Ферганский разлом; линейный тренд; GPS; GAMIT; GLOBK; Python; pandas; скорость; спутниковая геодезия.

## MODERN DYNAMICS OF THE TALASO-FERGANA FAULT

Ismailov M.K.<sup>1</sup>, Zubovich A.V.<sup>2</sup>, Kudabayev M.D.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Student Dept. “Geodesy and Geoinformatics” KSUCTA named after N. Isanov,

[marat.ismailov889@gmail.com](mailto:marat.ismailov889@gmail.com)

<sup>2</sup> Head of Department No. 3 of the Central Asian Institute for Applied Geosciences (CAIAG), Ph.D., [a.zubovich@caiag.kg](mailto:a.zubovich@caiag.kg)

<sup>3</sup> Senior Teacher Dept. "Geodesy and Geoinformatics" KSUCTA named after N. Isanov, [mirlan-kudabayev1967@mail.ru](mailto:mirlan-kudabayev1967@mail.ru)

**Abstract.** The article is devoted to the study of the modern dynamics of the Talas-Fergana fault using satellite geodesy data, mathematical methods of data processing and specialized software libraries for processing measurement results. The description of the geodetic observation network, initial values, stages of data processing and calculation results is given. The results allow us to conclude that there is practically no linear shear along the fault, and the perpendicular shear is about 3 mm / year. An assumption is put forward about the accumulation of tectonic stress in the region.

**Keywords:** Talas-Fergana fault; linear trend; GPS; GAMIT; GLOBK; Python; pandas; speed; satellite geodesy.

**Признательность.** Авторы выражают благодарность и глубокую признательность научному сотруднику ЦАИИЗ Мосиенко Ольге Ивановне за подготовку и предоставление исходных данных для работы над данной статьей.

**Введение.** Таласо-Ферганский разлом (ТФР) - крупное тектоническое нарушение земной коры, пересекающее Тянь-Шань. Протяжённость свыше 800 км, проходит вдоль Ферганского, Таласского и Каратауского хребтов [1]. Согласно существующим геологическим исследованиям динамики Таласо-Ферганского разлома средняя скорость его сдвига за последние 0,7—1,8 млн. лет составила 8—17 мм/год. Трифонов и др. [2] обнаруживают тенденцию нарастания скоростей сдвига в северо-западном направлении. В более современных исследованиях Зубович и др [3, 4] приходят к выводам о замедлении сдвиговых скоростей ТФР, что может свидетельствовать о накоплении тектонического напряжения и требует дальнейшего изучения [5]. В настоящей работе для изучения современной динамики ТФР используются данные станций, расположенных в зоне разлома.

**Описание геодезической сети наблюдения и обработки GPS данных.** В настоящее время GPS сеть Центрально-Азиатского Института прикладных Исследований Земли (ЦАИИЗ) состоит из 25 постоянно действующих станций, расположенных в Кыргызстане. Все станции являются автоматическими, автономными и необслуживаемыми. Сбор данных осуществляется автоматически через Интернет, спутниковую и мобильную связь. Обработка производится программами GAMIT/GLOBK также в м режиме. В состав сети наблюдения также входят станции других организаций региона. Расположение станций и результаты вычислений представлены на рис.2.

Обработка сырых суточных GPS данных осуществляется автоматически программным пакетом GAMIT/GLOBK, который образует комплексный набор

программ для анализа измерений GPS и, в первую очередь, для изучения деформации земной коры. Программное обеспечение разработано в Массачусетском технологическом институте при поддержке Национального научного фонда.

Обработка данных выполняется в два этапа [6]: (1) Расчет суточных значений координат станций с помощью GAMIT и (2) вычисление северных и восточных компонент базовых линий на основе суточных значений (GLOBK), которые являются исходными данными для настоящей работы. Таким образом, мы можем получить современные скорости смещения в зоне ТФР. Из всего набора вычисляемых данных взяты 4 станции: Таш-Кумыр (TKUM) и Арсланбоб (ARSL) к юго-западу от ТФР и Кёкёмерен (KEKI) и Талас (TALA) - к северо-востоку.

Полученные относительные скорости базовых линий станций превышают значение сезонных компонент и могут быть использованы для дальнейшего анализа.

**Формулировка задачи.** Целью настоящего исследования является изучение современной динамики Таласо-Ферганского разлома с использованием геодезических измерений GPS методами [7, 8].

Для отслеживания динамики вычисляется линейный тренд базовых линий между GPS станциями вблизи разлома. GPS данные получены со станций KEKI, TKUM и ARSL ЦАИИЗ и станции TALA Объединенного института высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН). Обработка и преобразование данных GPS в базовые линии между станциями осуществлены в ЦАИИЗ в программном пакете GAMIT/GLOBK. Скорость по восточной и северной компонентам вычисляются методом линейной регрессии. Поскольку сезонная компонента может внести существенные искажения, необходимо исключить её из временного ряда.

**Предлагаемое решение и его теоретическое обоснование.** Для определения современной динамики зоны ТФР нами были использованы временные ряды изменения длин двух базовых линий между станциями: (1) Арсланбоб-Кёкёмерен (arsl-keki) и (2) Таш-Кумыр-Талас (tkum-tala). Этапы расчета скорости:

1. Вычисление линейного тренда с использованием линейной регрессии
2. Удаление тренда из основного ряда
3. Удаление сезонной компоненты из основного ряда методом наименьших квадратов
4. Вычисление линейного тренда по северной и восточной компонентам
5. Разворот полученных системы отсчета в соответствии с направлением разлома

**Практическое исследование и выводы.** Для практического осуществления поставленной задачи мы создали веб-приложение на фреймворке FastAPI языка программирования Python с использованием специализированных библиотек для обработки данных и вывода полученных значений на экран в виде графиков: pandas,

scipy, matplotlib, numpy. Исходный код проекта находится по адресу [https://github.com/regfe89/baseline\\_calc](https://github.com/regfe89/baseline_calc). В качестве исходных данных были использованы таблицы со значениями базовых линий, полученные из системы хранения сенсорных данных ЦАИИЗ <http://sdss.caiag.kg/>. Пример данных в таблицах имеют следующий вид:

Таблица 1.

date	north_value	east_value
2014-02-21	67329.5191	55342.5834
2014-02-22	67329.5198	55342.5821
2014-02-23	67329.518	55342.5822
2014-02-24	67329.5194	55342.583
2014-02-25	67329.5178	55342.5819
2014-02-26	67329.519	55342.5824

Результат вычисления по одной из компонент представлен на рис. 1.

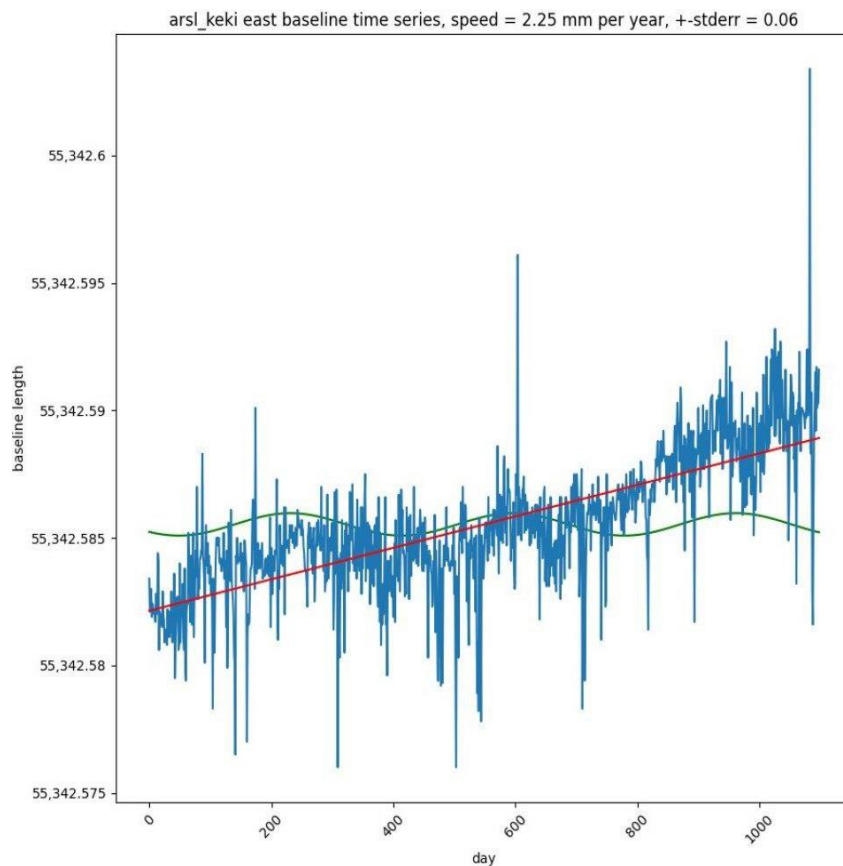


Рис. 1. График восточной компоненты базовой линии arsl-keki

Таблица 2.

Станции	Скорость восточной компоненты(мм/год)	Скорость северной компоненты(мм/год)	Скорость сдвига по разлому (тангенциальная), мм/год	Скорость перпендикулярно разлому (нормальная), мм/год
arsl-keki	$2.25 \pm 0.06$	$-2.06 \pm 0.06$	$0.31 \pm 0.06$	$-3.04 \pm 0.06$
tkum-tala	$2.11 \pm 0.05$	$-2.25 \pm 0.05$	$0.85 \pm 0.05$	$-2.96 \pm 0.05$



*Рис. 2. Направления и значения скоростей*

Полученные данные (табл. 2) значительно расходятся с данными геологических исследований и позволяют прийти к выводу о наличии тенденции к уменьшению скоростей сдвига в зоне ТФР (менее 1 мм/год), что может свидетельствовать о накоплении тектонического напряжения. Нормальная скорость (перпендикулярно разлому) составляет около 3 мм/год, что говорит о надвижении Таласского хребта на северо-восток. Дефицит скорости сдвига вызывает вопросы и требует дальнейшего

изучения.

**Заключение.** Выполненная работа показывает, что современные инструментальные исследования и методы обработки данных дают наглядное представление о динамике активных разломов и могут изменить его.

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ:**

1. **Буртман В. С.** Таласо-Ферганский сдвиг (Тянь-Шань). М.: Наука, 1964. 143 с.
2. **Трифонов В.Г., Макаров В.И., Скобелев С.В.** Таласо-Ферганский активный правый сдвиг. *Геотектоника*, №5, 1990, с. 81-92.
3. **Abdrakhmatov K.Ye., Aldazhanov S.A., Hager B.H., Hamburger M.W., Herring T.A., Kalabaev K.B., Makarov V.I., Molnar P., Panasyuk S.V., Prilepin M.T., Reilinger R.E., Sadybakasov I.S., Souter B.J., Trapeznikov Yu.A., Tsurkov V.Ye., Zubovich A.V.** Relatively construction of the Tien Shan inferred from GPS measurements of present-day crustal deformation rates. *Nature*, Vol 384, December, 1996, p.p.450-457.
4. **A. Fridman, A. Zubovich, V. Bragin, E. Polyachenko, G. Sobolev, V. Zeigarnik, V. Makarov, L. Bogomolov, G. Schelockov, M. Fridman.** Determination of the crustal strain rate field from GPS data and its correlation with regions of seismic activity. *Proceeding of the APSG Symposium "Space geodesy and its applications to Earth sciences"*. Published by Shanghai astronomical observatory, Chinese academy of sciences. 6-8 July, Singapore, 2004, p. 53-58.
6. **A. Zubovich, T. Schöne, S. Metzger, O. Mosienko, Sh. Mukhamediev, A. Sharshebaev, and C. Zech.** Tectonic interaction between the Pamir and Tien Shan observed by GPS. *TECTONICS*, Vol. 35 Issue 1-2, doi: 10.1002/2015TC004055, 2016.
7. **Herring, T. A., R. W. King, and S. C. McClusky.** *Introduction to GAMIT/GLOBK*, Release 10.35, Mass. Inst. of Technol., Cambridge, 2009.
8. **А. В. Зубович, Ш. А. Мухамедиев.** Метод наложенных триангуляций для вычисления градиента скорости горизонтальных движений: приложение к центрально-азиатской gps-сети // *Геодинамика и тектонофизика*. 2010. Т. 1. № 2. С. 169-185.
9. **А.В. Зубович, Р.Т. Бейсенбаев, Ван Сяочан, Джан Юнфен, С.И. Кузиков, О.И. Мосиенко, Е.Н. Нусипов, Г.Г. Щелочков, Ю.Г. Щерба.** О некоторых результатах анализа кинематики Тянь-Шаня и окружающих районов по данным GPS наблюдений. // *Геодинамические, сейсмологические и геофизические основы прогноза землетрясений и оценки сейсмического риска (Доклады Казахстанско-Российской международной конференции)*. Алматы, 2005. С.34-40.