

УДК 550.8.08

## УСТОЙЧИВОСТЬ СОВРЕМЕННЫХ ДВИЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ (БИШКЕКСКИЙ ГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ ПОЛИГОН)

*М.С. Мажников*

Рассчитаны и проанализированы на устойчивость векторы скоростей для GPS-пунктов на территории Кыргызстана за период наблюдения с 1994 по 2013 г.

*Ключевые слова:* GPS-измерения; устойчивость векторов скорости; временной интервал.

## THE STABILITY OF CONTEMPORARY MOVEMENTS OF THE EARTH'S CRUST (BISHKEK GEODYNAMIC PROVING GROUND)

*M.S. Mazhnikov*

It is calculated and analyzed on the stability of the velocity vectors for the GPS points on the territory of Kyrgyzstan during the observation period from 1994 to 2013.

*Keywords:* GPS measurements; the stability of the velocity vectors; time interval.

Деятельность лаборатории изучения современных движений земной коры методами космической геодезии Научной станции Российской академии наук главным образом направлена на исследование приповерхностных смещений и связанных с ними геодинамических процессов на территории Центральной Азии. Основным инструментом исследований, которые проводятся с 1992 г., является GPS-метод. Главными параметрами при анализе данных GPS-наблюдений до сих пор являются векторы скорости исследуемых пунктов [1]. В настоящее время возник вопрос о точности и временных вариациях координат, получаемых GPS-методом [2]. Данная работа посвящена изучению стабильности поля векторов скорости для разных временных интервалов на территории Центральноазиатской GPS-сети.

На 2015 г. в базе данных GPS-наблюдений Центральноазиатской сети содержится информация об измерениях 680 пунктов. Но не все они пригодны для анализа временных вариаций координат и векторов скорости. По требованиям технологии обработки GPS-данных к расчетам допускаются пункты, которые имеют не менее трех измерений в течение не менее трех лет. Установки и первое измерение GPS-пунктов ЦА сети производились в течение нескольких лет (рисунок 1).

Однако следует отметить, что с момента установки не на всех пунктах ведутся непрерывные измерения (рисунок 2).

На рисунках 1 и 2 видно, что по плотности сети и частоте измерений территория Кыргызстана наилучшим образом подходит для исследования вре-

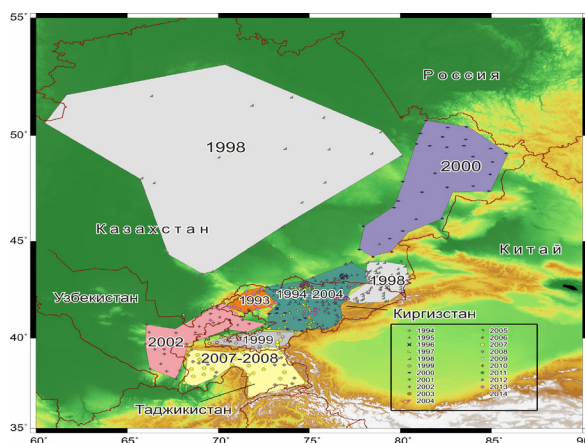


Рисунок 1 – Схема распределения площадей с преимущественным положением GPS-пунктов, установленных и первый раз, и измеренных по годам становления Центральноазиатской GPS-сети, на территории Кыргызстана, Казахстана, Узбекистана и Таджикистана

Таблица 1 – Статистические параметры исследуемых пунктов и их отличия (мм/год)

Параметры	$V_{E1}$	$V_{E2}$	$\Delta V_{E2-1}$	$V_{N1}$	$V_{N2}$	$\Delta V_{N2-1}$	$ \Delta V $
Минимум (Min)	-7.32	-5.79	1,52	-5.81	-5.87	-0,05	0.10
Среднее (Avg)	0.00	0.00	0,00	0.00	0.00	0,00	1.13
Максимум (Max)	2.97	2.86	-0,11	6.42	6.71	0,30	6.01
Max-Min	10.29	8.65	-1,64	12.23	12.58	0,35	5.90
Стандартное отклонение	1.31	0.98	-0,33	3.26	3.17	-0,10	0.74
Средний $ \text{Avg}-V^* $	0.85	0.72	0,13	2.80	2.73	-0,07	0.54

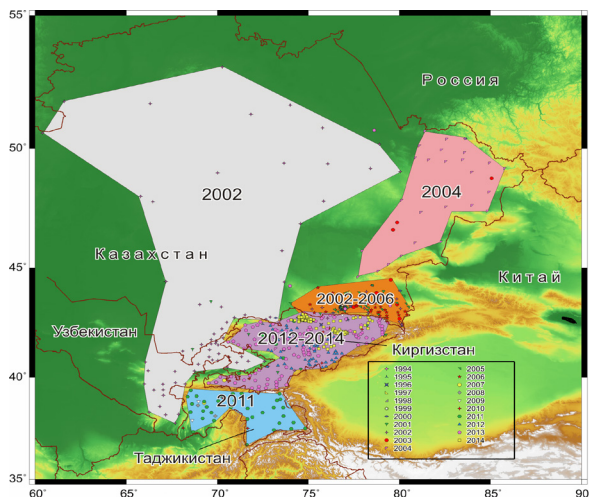


Рисунок 2 – Схема распределения площадей с преимущественным положением GPS-пунктов по году последнего измерения в пределах Центральноазиатской GPS-сети

менных вариаций координат и векторов скорости GPS-пунктов. Для начального анализа было принято решение выделить два временных интервала: 1994–2003 и 2004–2013 гг. При соблюдении перечисленных выше условий для исследования пригодны 183 пункта на территории Кыргызстана.

Для выбранных пунктов были рассчитаны векторы скорости с помощью программного пакета GAMIT\GLOBK [3, 4]. Важно отметить, что для первого и второго временного интервала расчеты векторов скорости проводились при одинаковых прочих исходных условиях и настройках GAMIT\GLOBK [5]. На рисунке 3 показаны векторы скорости для выбранных интервалов.

На рисунке видно, что отдельные векторы претерпели довольно значительные изменения, но в основной массе – это лишь небольшие отличия между векторами первого и второго десятилетия. Для более детального рассмотрения отличий в анализируемых векторных системах обратимся к количественным показателям их разности после проведения процедуры минимизации [1] (таблица 1).

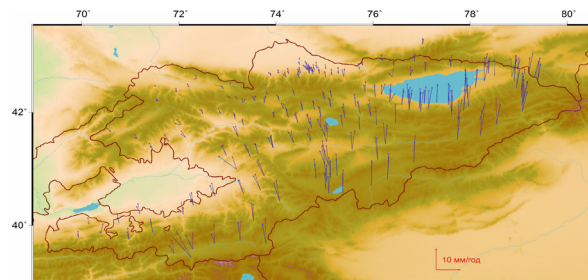


Рисунок 3 – Векторы скорости в системе отсчета EURA 2008 г. для 183 пунктов Кыргызстана. Синие стрелки – результаты наблюдений за 1994–2003 гг. ( $\geq 3$  лет), фиолетовые стрелки – результаты наблюдений за 2004–2013 гг. ( $\geq 3$  лет)

В названиях столбцов таблицы 1 приняты следующие обозначения:

$V_{E1}$  и  $V_{E2}$  – восточные компоненты скорости для интервалов 1994–2003 и 2004–2013 гг.;

$V_{N1}$  и  $V_{N2}$  – северные компоненты скорости для интервалов 1994–2003 гг. и 2004–2013 гг.;

$\Delta V_{E2-1}$  и  $\Delta V_{N2-1}$  – разность между восточными и северными компонентами соответственно;

$|\Delta V|$  – модуль разности между горизонтальными векторами скорости для интервалов 1994–2003 и 2004–2013 гг.

Так, по модулю разности между одноименными, но разновозрастными векторами отмечается максимум в 6,01 мм/год, а в среднем – 1,13 мм/год. Чтобы понять частотное распределение модулей разности векторов приведем следующие показатели:  $\geq 3$  мм/год – ~2 % (3), 2–3 мм/год – ~8 % (15), 1–2 мм/год – ~42 % (76) и <1 мм/год – ~48 % (89). Если исключить уровень регулярных ошибок до 2 мм/год, то остается только 10 % случаев, при которых могли происходить геодинамические изменения режима движений GPS-пунктов.

Можно утверждать, что на территории Кыргызского Тянь-Шаня современное поле скорости за 1994–2013 гг. наблюдений на 90 % стабильно в пределах скоростных вариаций <2 мм/год, которые можно отнести к ошибкам измерений.

В дальнейшем следует внимательно изучить временные ряды координат пунктов с максимальными расхождениями векторов скорости за исследуемые интервалы времени. Возможно, эти всплески вызваны не геодинамическими процессами, а какими-то другими факторами, влияющими на подобные расхождения в векторах скорости с течением времени. Подобные прецеденты уже встречались на практике: влияние отдельных некачественных (краткосрочных) измерений, ошибочная замена имен марок, влияние экзогенных факторов и т. д.

#### *Литература*

1. Кузиков С.И. Структура поля современных скоростей земной коры в районе Центральноазиатской GPS-сети / С.И. Кузиков, Ш.А. Мухамедиев // Физика Земли. 2010. № 7. С. 33–51.
2. Кузиков С.И. Методические задачи и проблемы точности GPS-наблюдений (на примере Бишкекского геодинамического полигона) / С.И. Кузиков // Физика Земли. 2014. № 6. С. 55–69.
3. Herring T.A. GLOBK: Reference manual: Global Kalman filter VLBI and GPS analysis program. Release 10.4 / T.A. Herring, B.W. King, S.C. McClusky. MIT, 2010. 91 p.
4. Herring T.A. Introduction to GAMIT/GLOBK: Release 10.4 / T.A. Herring, B.W. King, S.C. McClusky. MIT, 2010. 48 p.
5. Мажников М.С. Особенности обработки и представления результатов GPS-измерений / М.С. Мажников // Современные техника и технологии в научных исследованиях: матер. 6-й межд. конф. молодых ученых и студ. Бишкек, 2014. С. 129–133.