N E W S
OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES
ISSN 1991-346X
Volume 3, Number 307 (2016), 34 – 39

UDC 551.242.1

THE DYNAMICS OF THE SEASONAL MOVEMENTS OF GPS STATIONS IN THE NORTHERN TIEN SHAN

A.V. Vilyayev, Zh.Sh. Zhantaev, A.P. Stikharnyi

"Institute of Ionosphere" JSC "National Center for Space Research and Technology", Almaty
vilayev@gmail.com

Keywords: Geodynamics, GPS measurements, seasonal variations

Abstract. In the study of modern movements of the Earth's surface to actively use space geodesy techniques. Linear trend of long time series of observations on the permanent GPS stations was used to determine regional and global tectonic movements and deformations. At the same time it is insufficiently examined seasonal variations in movements that are also practical significance in the study of geodynamic earthquake precursors.

The paper considers the dynamics of the movement of GPS stations in the Northern Tien Shan observational results for the period 2009-2015. Seasonal ingredients identified horizontal and vertical displacement, revealed the characteristic features of their variations. It was established movement of centers points in the horizontal plane of rotation of the ellipse approximated direction of travel counterclockwise. The amplitude displacements along the major axis varies from 2 mm to 14 mm. In the first half of the year it is dominated by north-westerly direction horizontal displacements, the second - the south-east. Dynamic vertical displacement is differentiated to stations.

The question of the physical sources of the observed seasonal variations of movement GPS points determines the direction of future research on the mechanism of formation of modern geodynamic processes on the territory of the Northern Tien Shan.

УДК 551.242.1

ДИНАМИКА СЕЗОННЫХ ДВИЖЕНИЙ GPS СТАНЦИЙ НА ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ

А.В. Виляев, Ж.Ш.Жантаев, А.П. Стихарный

ДТОО «Институт ионосферы» АО «НЦКИТ», г.Алматы

Ключевые слова: геодинамика, GPS измерения, сезонные вариации.

Аннотация. В исследовании современных движений земной поверхности активно используются методы космической геодезии. Линейный тренд продолжительных временных рядов GPS наблюдений на перманентных станциях используется для определения региональных и глобальных тектонических движений и деформаций. В то же время не уделяется должного внимания рассмотрению сезонных вариаций

движений, имеющих также практическую значимость в изучении геодинамических предвестников землетрясений.

В работе рассмотрена динамика движения GPS станций на территории Северного Тянь-Шаня по результатам наблюдений за период 2009-2015 гг. Определены сезонные компоненты планового и высотного смещения, выявлены характерные особенности их вариаций. Установлено движение центров пунктов в горизонтальной плоскости, аппроксимируемое эллипсом с направлением движения против часовой стрелки. Амплитуда перемещений по главной оси изменяется от 2 мм до 14 мм. В первой половине года преобладают северо-западные направления горизонтальных смещений, во второй - юго-восточные. Динамика вертикальных смещений имеет дифференцированный характер для различных станций.

Вопрос о физических источниках наблюдаемых сезонных вариаций движения GPS пунктов определяет направление дальнейших исследований по изучению механизма формирования современных геодинамических процессов на территории Северного Тянь-Шаня.

Введение

В изучении современных движений земной поверхности активно используются методы космической геодезии. Определение скорости движения отдельных блоков земной коры и целых континентов по дискретным наблюдениям на сети постоянно действующих опорных станций Международной GPS службы стало рутинной операцией. После процедур удаления ошибок и помех из измеряемого сигнала, определяются с высокой точностью координаты GPS станции и компоненты планового и высотного смещения. Линейный тренд продолжительных временных рядов этих измерений считается прямым индикатором региональных и глобальных тектонических движений и деформаций.

В технологии получения информации о координатах GPS станции вопрос фильтрации действительных геодинамических движений от вариаций физического состояния среды по трассе прохождения сигнала остается невыясненным. Исключая ошибки аппаратуры и математической обработки, наиболее весомыми считаются изменения атмосферной нагрузки [1], гидрологическое воздействие уровня подземных вод [2], сезонные температурные эффекты [3].

Считается, что при продолжительном геодинамическом мониторинге движений поверхности периодом более 4.5 лет сезонные вариации GPS сигнала не оказывают влияния на точность линейного тренда [4]. Однако, как показывают последние исследования, годичные циклы вносят значительный вклад в оценку линейного тренда [5] и в формирование деформационных процессов, имеющих практическое значение при изучении региональных тектонических движений и геодинамических предвестников землетрясений [6].

В настоящее время для территории Северного Тянь-Шаня накоплены значительные научные данные и материалы по результатам исследований природы современных движений методами космической геодезии [7-10]. Анализ опубликованных материалов показывает неоднозначность в определении физических процессов, контролирующих наблюдаемые изменения координат GPS станций. Так, априорно, мировым GPS сообществом единственная доминирующая роль в изменении координат GPS станций отводится эндогенным литосферным и мантийным геодинамическим процессам. С другой стороны, вопрос определения источника наблюдаемых вариаций без рассмотрения влияния как внешних сил планетарного масштаба, так и локальных неоднородностей физической среды околоземного пространства не может быть решен положительно [7,8].

Цель настоящей работы заключалась в изучении закономерностей сезонных вариаций движения GPS пунктов как экспериментальной основы современных геодинамических процессов на территории Северного Тянь-Шаня.

Методы исследования

Исходными данными являются результаты наблюдений на 9 пунктах локальной сети стационарных GPS приемников Института Ионосферы (4 станции) и Института Сейсмологии (5 станций) за период 2009-2015 гг.. Станции расположены в сейсмически опасной зоне с возможной сотрясаемостью до 9-ти баллов в районе хребта Заилийский Алатау, а также в переходной области к асейсмичной части Казахского щита. Для автоматизированных измерений использовались двухфазные GPS приемники LEICA GPS1200, TRIMBLE 4000SST, ROGUE SNR-8000. Дискретность взятия отсчетов составляла 30 сек.

Обработка сигналов осуществлялась программным комплексом GAMIT/GLOBK, разработанным в Массачуссетском технологическом институте, Гарвард-Смитсонском Астрофизическом Центре (CfA) и Океанографическом институте имени Скриппса (SIO) [11,12]. Координаты пунктов рассчитывались на основе дифференциальных фазовых и кодовых наблюдений, параметров орбит движения спутников, ионосферной и тропосферной задержек, фазовых неоднозначностей. Ежедневные решения объединялись в системе отсчета ITRF2008 с результатами измерений 23 станций всемирной IGSS сети. В результате вычислены абсолютные значения смещений по долготе, широте и высоте в каждом пункте наблюдений относительно Евразийского континента.

Полученные данные использованы для анализа сезонных вариаций движения GPS пунктов.

Результаты исследования

По результатам непрерывных измерений определены вектора скоростей современных движений, как линейные тренды приращений соответствующих координат пункта за нормированное время (Табл.1). Точность определения координат составила в плане 4,3 мм, по высоте 9.9 мм.

Компоненты смещений и их линейный тренд показаны на примере пункта TURG на рис. 1. Сезонная декомпозиция осуществлялась для соответствующих направлений вычетом линейных трендов. Дальнейшая обработка заключалась в вычислении среднесуточного значения сезонной составляющей смещения GPS пункта по долготе, широте и вертикали на каждый день года за весь цикл наблюдений.

Таблица 1 – Характеристики движения GPS пунктов на период 2015г. относительно Евразии

ID	долгота	широта	юг-север	запад-восток	вертикаль	Азимут
CHLK	78.373	43.529	3.531	1.395	0.125	22
CHSH	76.998	43.854	0.832	0.166	2.374	11
IZVS	76.610	43.038	2.609	-0.376	3.068	352
KAST	75.967	43.045	2.098	0.727	1.169	19
KURY	76.338	43.893	0.810	-0.140	1.388	350
MATB	76.427	43.130	2.233	-0.666	4.007	343
SATY	78.408	43.057	5.273	1.869	-0.210	20
TSHN	76.944	43.042	2.928	-0.340	3.844	353
TURG	77.633	43.309	3.294	1.229	0.613	20

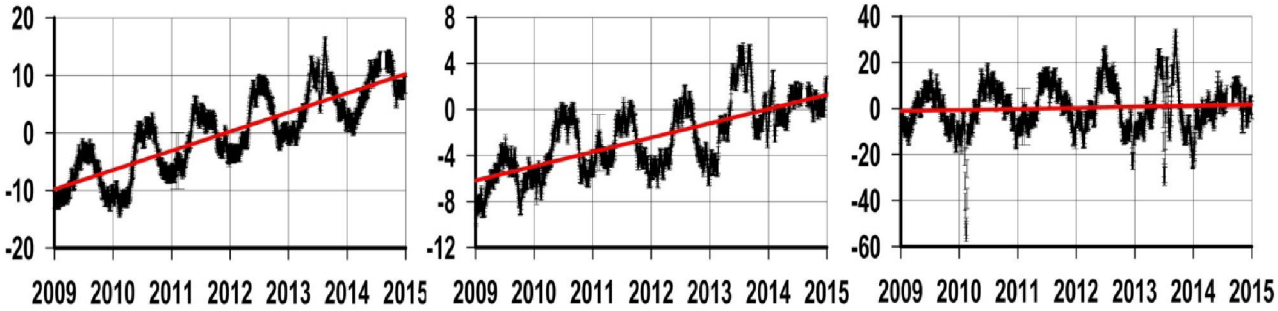

Рисунок 1 – Временной ряд смещений пункта TURG по широте, долготе и вертикали (слева-направо) за период 2009-2015 гг.

Установлено ежегодное устойчиво-направленное вращательное движение центров пунктов. На рис. 2 представлены графики смещения некоторых GPS пунктов в горизонтальной плоскости. Движение пунктов может быть аппроксимировано эллипсом с направлением движения против

часовой стрелки. Амплитуда перемещений по главной оси эллипса изменяется от 3 мм до 14 мм в сезон. Данный результат получен как для пунктов Северного Тянь-Шаня, так и для некоторых рассмотренных международных станций IGSS. Аналогичная сезонная динамика движений наблюдалась также в области Алданского щита [6] и территории Южной Якутии [13].

Пространственно-временное распределение векторов горизонтальных смещений показано на рис.3. Для большинства рассматриваемых GPS станций выявлено противоположное направление движение в зависимости от сезона года весна-осень или зима-лето.

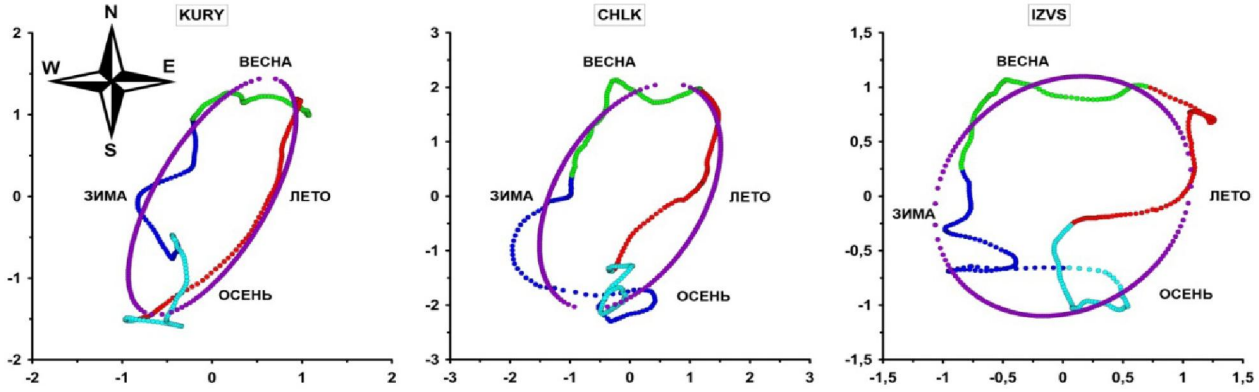

Рисунок 2 – Сезонная динамика смещений центров приемных антенн GPS пунктов KURY, CHLK, IZVS в горизонтальной плоскости (ед. измерений мм)

В первой половине года преобладают северо-западные направления горизонтальных смещений, во второй - юго-восточные. Максимальная сезонная амплитуда горизонтальных компонент перемещений достигает 11.5 мм (TURG) на фоне линейных трендовых не более 5.3 мм/год.

Амплитуда среднесуточных движений станций в вертикальном направлении в течение года не превышает 30 мм. Динамика вертикальных смещений имеет дифференцированный характер. Для некоторых GPS станций определены поднятия в зимние месяцы года и опускания в летние, для другой части станций процесс имеет противоположное направление в этот же сезон (рис.4). Процесс вертикальных движений, скорее всего, определяется различным гидрологическим режимом подземных вод.

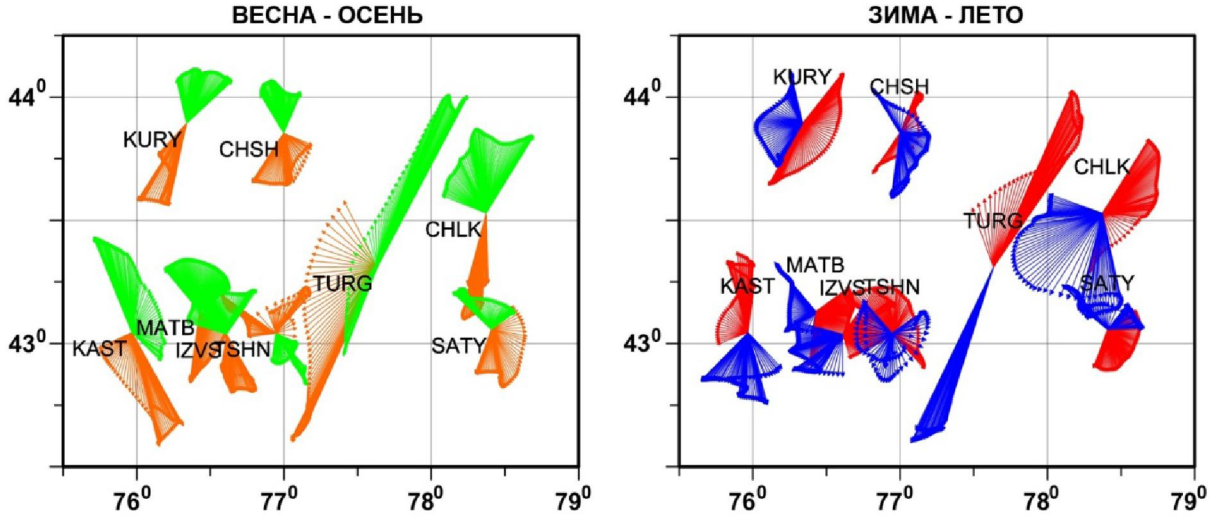

Рисунок 3 – Сезонные вариации направления вектора горизонтальных смещений GPS станций

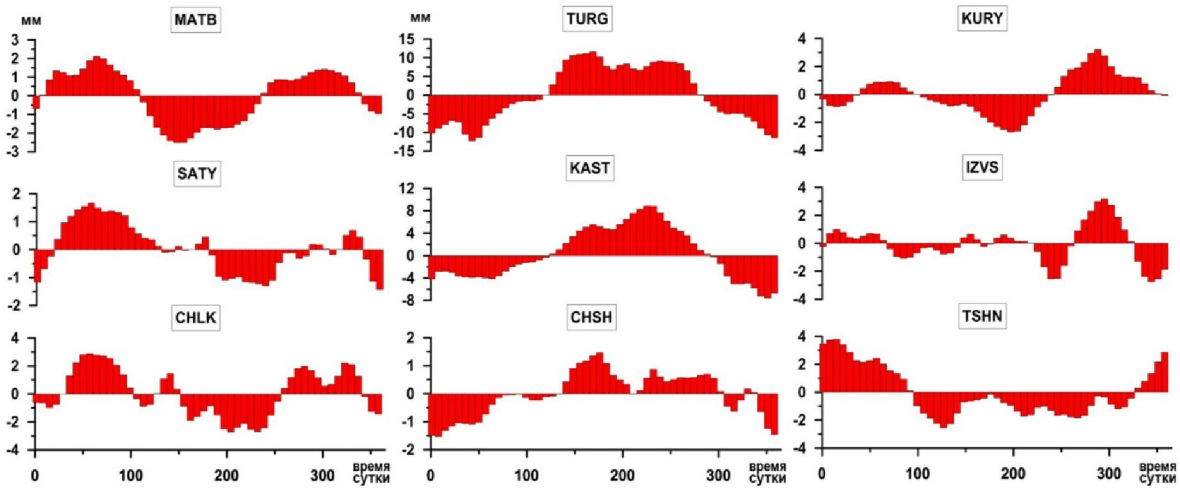

Рисунок 4 – Графики сезонных вертикальных движений GPS станций

Комплексное воздействие физических полей эндогенной и экзогенной природы обуславливает особенности выделенных сезонных движений GPS станций. Установление корреляционной связи между компонентами движений и процессами в атмосфере, ионосфере, лунно-солнечными силами гравитационного воздействия, гидродинамическим режимом позволит изучить источник этих вариаций и особенности механизма передачи энергии в фиксируемые геодинамические процессы.

Заключение. По результатам наблюдений в период 2009-2015 гг. определены сезонные компоненты планового и высотного смещения GPS станций, расположенных в северо-Тянь-Шаньском регионе и выявлены характерные особенности их вариаций.

Установлено движение центров пунктов в горизонтальной плоскости, аппроксимируемое эллипсом с направлением движения против часовой стрелки. Амплитуда перемещений по главной оси изменяется от 2 мм до 14 мм. В первой половине года преобладают северо-западные направления горизонтальных смещений, во второй - юго-восточные. Динамика вертикальных смещений имеет дифференцированный характер для различных станций.

Вопрос о физических источниках наблюдаемых сезонных вариаций движения GPS пунктов определяет направление дальнейших исследований по изучению механизма формирования современных геодинамических процессов на территории Северного Тянь-Шаня.

Работа выполнена по проекту «Разработать методологию исследования геомеханического состояния земной коры кризисных территорий с использованием спутниковых технологий и математического моделирования» в рамках научной программы: «Развитие космических технологий мониторинга процессов на земной поверхности и в литосфере, создание элементной базы и аппаратуры для его проведения, разработка приборов, аппаратно-программных средств и подсистем космической техники». Исполнитель – ДТОО «Институт ионосферы» АО «Национальный центр космических исследований и технологий»

ЛИТЕРАТУРА

[1] Van Dam, T.M., Wahr, J., Chao, Y., Leuliette, E. Predictions of crustal deformation and of geoid and sea-level variability caused by oceanic and atmospheric loading. Geophys. J., 1997, Int. 129, 507–517.

[2] Van Dam, T., Wahr, J., Milly, P.C.D., Shmakin, A.B., Blewitt, G., Lavallйe, D., Larson, K.M. Crustal displacements due to continental water loading. Geophys. Res. Lett., 2001, 28, 651–654. [3] Romagnoli, C., Zerbini, S., Lago, L., Richter, B., Simon, D., Domenichini, F., Elmi, C., Ghirotti, M. Influence of soil consolidation and thermal expansion effects on height and gravity variations. J. Geodyn., 2003, 35 (4–5), 521–539.

[4] Blewitt,G.,Lavallйe,D. Effect of annual signals on geodetic velocity. J.Geophys. Res., 2002, 107, 2145.

[5] M.S. Bos, L. Bastos, R.M.S. Fernandes The influence of seasonal signals on the estimation of the tectonic motion in short continuous GPS time-series, 2010, J. of Geodynamics. 49, 205–209.

[6] Трофименко С.В., Гриб Н.Н., Колодезников И.И., Маршалов А.Я. Инерционная модель взаимодействия блоков земной коры по данным GPS -геодезии, Фундаментальные исследования Геолого-минералогические науки, 2013, №6, 111-115.

[7] Надиров Н.К., Курскеев А.К., Жантаев Ж.Ш. Дифференцированный отклик структур Тянь-Шаня на воздействие космических сил как основа современных геодинамических и сейсмических процессов в литосфере. Известия НАН РК, серия геологии и технических наук, 2014, №2, С.56-69.

[8] Курскеев А.К. Современная геодинамика Тянь-Шаня по данным космической геодезии. Известия НАН РК, серия геологии и технических наук, 2011, №2, С.5-17.

[9] Зубович А.В., Трапезников Ю.А., Брагин В.Д. и др. Поле деформаций, глубинное строение земной коры и пространственное распределение сейсмичности Тянь-Шаня. Геология и геофизика. 2001, Т.42. №10. С.1634-1640.

[10] Жантаев Ж.Ш., Виляев А.В., Бибосинов А., Садыков К.А., Асанкулов Н.А. Изучение современных медленных движений земной поверхности Казахстана по данным глобальных навигационных спутниковых систем (GNSS). Прикладные космические исследования в Казахстане. Алматы, 2013, Т. 9. С.94-105.

[11] Herring T., King B., McClusky S., Documentation for the GAMIT GPS analysis software Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences. Release 10.3, Cambridge: Massachusetts Institute of Technology. 2006, 105 p.

[12] Herring T., GLOBK: Global Kalman filter VLBI and GPS analysis program Version 10.3, Cambridge: Massachusetts Institute of Technology. 2001, – 87 p.

[13] Трофименко С.В., Гриб Н.Н. Годичная динамика движения GPS пункта «Нерюнгри», Современная геодинамика Центральной Азии, Иркутск, 2012, 189-192.

REFERENCES

[1] Van Dam, T.M., Wahr, J., Chao, Y., Leuliette, E. Predictions of crustal deformation and of geoid and sea-level variability caused by oceanic and atmospheric loading. Geophys. J., **1997**, Int. 129, 507–517 (in Eng.).

[2] Van Dam, T., Wahr, J., Milly, P.C.D., Shmakin, A.B., Blewitt, G., Lavallйe, D., Larson, K.M. Crustal displacements due to continental water loading. Geophys. Res. Lett., **2001**, 28, 651–654. (in Eng.).

[3] Romagnoli, C., Zerbini, S., Lago, L., Richter, B., Simon, D., Domenichini, F., Elmi, C., Ghirotti, M. Influence of soil consolidation and thermal expansion effects on height and gravity variations. J. Geodyn., **2003**, 35 (4–5), 521–539. (in Eng.).

[4] Blewitt,G.,Lavallйe,D. Effect of annual signals on geodetic velocity. J.Geophys. Res., **2002**, 107, 2145. (in Eng.).

[5] M.S. Bos, L. Bastos, R.M.S. Fernandes The influence of seasonal signals on the estimation of the tectonic motion in short continuous GPS time-series, 2010, J. of Geodynamics. 49, 205–209. (in Eng.).

[6] Trofimenko S.V., Grib N.N., Kolodeznikov I.I., Marshalov A.Ia. Inertcionnaia model vzaimodeistviia blokov zemnoi kory po dannym GPS -geodezii, Fundamentalnye issledovaniia Geologo-mineralogicheskie nauki, **2013**, №6, 111-115 (in Rus.).

[7] Nadirov N.K., Kurskeev A.K., Zhantaev ZH.Sh. Differentcirovannyi otclik struktur Tian-Shania na vozdeistvie kosmicheskikh sil kak osnova sovremennykh geodinamicheskikh i seismicheskikh protcessov v litosfere. Izvestiia NAN RK, seriia geologii i tekhnicheskikh nauk, **2014**, №2, S.56-69 (in Rus.).

[8] Kurskeev A.K. Sovremennaia geodinamika Tian-Shania po dannym kosmicheskoi geodezii. Izvestiia NAN RK, seriia geologii i tekhnicheskikh nauk, **2011**, №2, S.5-17 (in Rus.)

[9] Zubovich A.V., Trapeznikov Iu.A., Bragin V.D. i dr. Pole deformatcii, glubinnoe stroenie zemnoi kory i prostranstvennoe raspredelenie seismichnosti Tian-Shania. Geologiia i geofizika. **2001**, T.42. №10. C.1634-1640. (in Rus.).

[10] Zhantaev ZH.Sh., Vilyayev A.V., Bibosinov A., Sadykov K.A., Asankulov N.A. Izuchenie sovremennykh medlennykh dvizhenii` zemnoi poverkhnosti Kazakhstana po dannym globalnykh navigatcionnykh sputneykovykh sistem (GNSS). Pricladnye kosmicheskie issledovaniia v Kazakhstane. Almaty, **2013**, T. 9. S.94-105. (in Rus.).

[11] Herring T., King B., McClusky S., Documentation for the GAMIT GPS analysis software Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences. Release 10.3, Cambridge: Massachusetts Institute of Technology. **2006**, – 105 p. (in Eng.).

[12] Herring T., GLOBK: Global Kalman filter VLBI and GPS analysis program Version 10.3, Cambridge: Massachusetts Institute of Technology. **2001**, – 87 p. (in Eng.).

[13] Trofimenko S.V., Grib N.N. Godichnaia dinamika dvizheniia GPS punkta «Neriungri», Sovremennaia geodinamika Centralnoi Azii, Irkutsk, **2012**, 189-192. (in Rus.).

СОЛТҮСТІК ТЯНЬ-ШАНЬ АЙМАҒЫНДА GPS БЕКЕТТЕРІНІҢ МАУСЫМДЫҚ ҚОЗҒАЛЫСЫНЫҢ ӨЗГЕРУІ

А.В. Виляев, Ж.Ш. Жантаев, А.П. Стихарный

ЕЖШС «Ионосфера институты» «Ұлттық ғарыштық зерттеулер мен технологиялар орталығы» АҚ, Алматы

Түйін сөздер: геодинамика, GPS өлшемдері, маусымдық түрленуі.

Аннотация. Жер бедерінің қазіргі заманғы қозғалысын зерттеуде ғарыштық геодезия әдістері белсенді қолданылуда. Үздіксіз станциялардағы GPS бақылауының ұзаққа созылған уақыттық қатарының желілік тренді, аймақтық және ғаламдық тектоникалық қозғалыстар мен деформацияны анықтау үшін қолданылады. Сонымен қатар жер сілкінісінің геодинамикалық тұрғыдағы хабаршысы және де тәжірибелік маңызы зор қозғалыстың маусымдық өзгерісіне де үлкен назар бөлінеді.

Жұмыста 2009-2015 жж. аралығындағы Солтүстік Тянь-Шань аумағындағы бақылау нәтижелері бойынша, GPS бекетінің динамикалық қозғалысы қарастырылған. Жоспарлық және биіктік жылжудың маусымдық құраушысы анықталған, олардың өзіндік ерекшеліктері анықталды. Сағат бағытына қарсы бағытта қозғалатын эллипс қозғалысына жуық келетін, көлденең жазықтықта бекеттердің орталығының қозғалысы тіркелді. Негізгі белдік бойынша ығысу амплитудасы 2 мм-ден 14 мм-ге дейін өзгереді. Жылдың бірінші жартысында солтүстік-батыс бағытындағы көлденең ығысыуы басыңқы, екінші жартысында оңтүстік-шығыс бағыты. Биіктік ығысудың қозғалысы әр түрлі бекеттер үшін сараланған сипатқа ие.

GPS бекеттерінің маусымдық өзгерістерінің қозғалысын бақылауының физикалық көзі бойынша сұрақтар Солтүстік Тянь-Шань аймағында қазіргі заманғы геодинамикалық үдерістердің қалыптасуының механизмін зерттеу бойынша алдағы зерттеу бағыттарын анықтайды.

Поступила 17.06.2016 г.