

**NEWS**

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

**PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES**

ISSN 1991-346X

<https://doi.org/10.32014/2020.2518-1726.51>

Volume 3, Number 331 (2020), 177 – 182

UDC 528.481

**Zh. Sh. Zhantayev, A. A. Kaldybayev, S. M. Nurakynov, A.S. Urazaliyev, A. B. Kairanbayeva**

Institute of Ionosphere JSC "National Centre Research and Technology", Almaty, Kazakhstan.

E-mail: admion1@mail.ru; azamat.kaldybayev@gmail.com; [nurakynov@gmail.com](mailto:nurakynov@gmail.com);

aset\_urazaliyev@mail.ru; kairanbaeva\_a@mail.ru

**SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL BASES OF GPS MONITORING  
OF INTENSIVE MOVEMENTS OF THE EARTH'S CRUST  
IN THE EARTHQUAKE-PRONE REGIONS OF KAZAKHSTAN**

**Abstract.** Over the past 40 years, the damage caused by natural disasters in the world has increased 9 times, and their frequency 5 times, while the growth rate of economic damage from natural disasters exceeds the growth rate of industrial production. Disasters that have occurred in recent years are characterized by a large number of people who died at the same time. In this regard, the decisions of the United Nations, other international organizations and the law of the Republic of Kazakhstan emphasize that governments, international organizations and scientific institutions should be included in the fight against disasters, where Kazakhstan is no exception to the global patterns of emergencies and their negative impact on the social sphere and the environment. Over the past hundred years, destructive and catastrophic earthquakes have occurred in the seismically active territories of Kazakhstan, such as Vernensky (1887), Chilik (1889), Keminsky (1911), the latter, two of which are the strongest in the continental part of Eurasia for the whole history of observations. The occurrence of such seismic catastrophes in the future is very likely and is a consequence of the previous stages of the geological development of the region and its current geodynamic position. All this indicates the need to study the manifestations of geodynamic processes, identify precursors of seismic activity.

**Key words:** earth's crust, earthquake-prone areas, GPS monitoring, velocity rates.

**Introduction.** Over the past twenty years, GPS technology has become one of the main in the study of modern slow movements of the Earth's surface, as having the highest sensitivity for large areas and providing acceptable accuracy in determining speed parameters. Among the scientific and technical problems solved by the world community in the direction of geodynamic GPS monitoring are the following main tasks of the study: - determine the quantitative parameters of modern territory movements and the sources of modern geodynamic activity; - study the basic geodynamic factors that determine dangerous natural processes; - study the destructive zones of the lithosphere: fault structure, stress state; - study the seismic processes in the zones of modern geodynamic activity of the lithosphere; - highlight the patterns of temporal variations of natural processes as a basis for their prediction; - develop preventive measures to reduce the risk of natural disasters.

When studying modern geodynamic processes throughout the country on the basis of a system of high-precision satellite GNSS measurements, it is necessary to adapt the incoming data to the solution of geodynamic problems and thereby ensure seismic safety in the study area, which justifies the choice of research direction. The presence of experimental GNSS data, coupled with a sufficient density of the GPS-observation network, allows us to study in detail the deformation processes of the earth's surface at various spatial-scale levels in Kazakhstan.

**Detailed networks for monitoring the seismic activity of the region.** The territory of the Northern Tien Shan can serve as a test site for the development of a methodology for monitoring and studying modern geodynamic processes in Kazakhstan based on high-precision GPS observations. The North Tien Shan seismically active zone is clearly traced in the latitudinal direction along the ridge. Kyrgyz, Zailiysky

and Kungei Alatau epicenters of strong earthquakes. They reach the highest density in the longitude range from the 73rd to the 79th meridian, where the focal zones of the strongest earthquakes Keminsky in 1911 ( $M = 8.2$ ) and Chiliksky in 1883 ( $M = 8.3$ ) fall [6].

Since 1993, many years of research on the study of modern movements in the Northern Tien Shan were carried out as part of the International Project with the participation of specialists from the Massachusetts Institute of Technology, specialists from Kyrgyzstan and Kazakhstan [7]. In addition, starting in 2009. The Ionosphere Institute and the Institute of Seismology implemented the work on the deployment of a regional network consisting of 11 GPS stations (figure 1). These stations are used for continuous observations in the foothills of the Ile Alatau in the zone of a possible earthquake with a magnitude of 9 points, which makes it possible to evaluate seismic activity in the on-line mode.

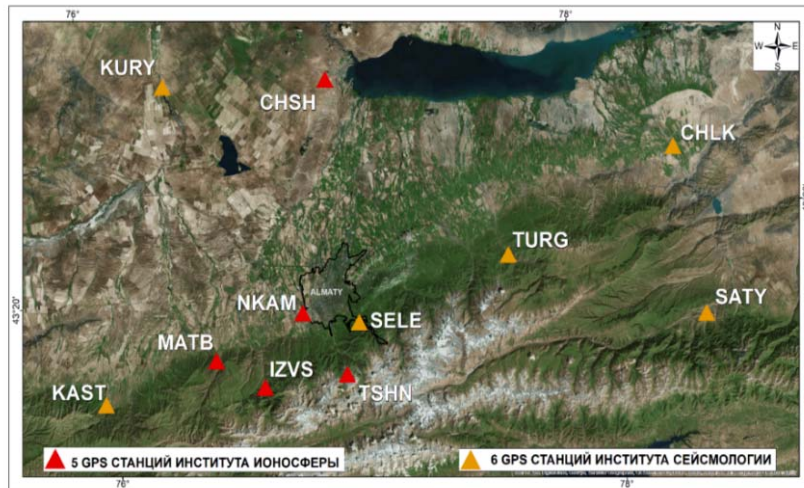


Figure 1 - Location of local GPS stations in the Northern Tien Shan

In 2013, Leica Geosystems [8] deployed a network of 30 differential GPS stations throughout Kazakhstan, designed to solve geodetic tasks in construction and other areas of the national economy. In addition, in 2015, a network of 19 GPS stations with the same purpose was deployed in Kazakhstan by the efforts of the Trimble company [9]. These stations are located in the largest centers and cover 80% of the territory (figure 2).

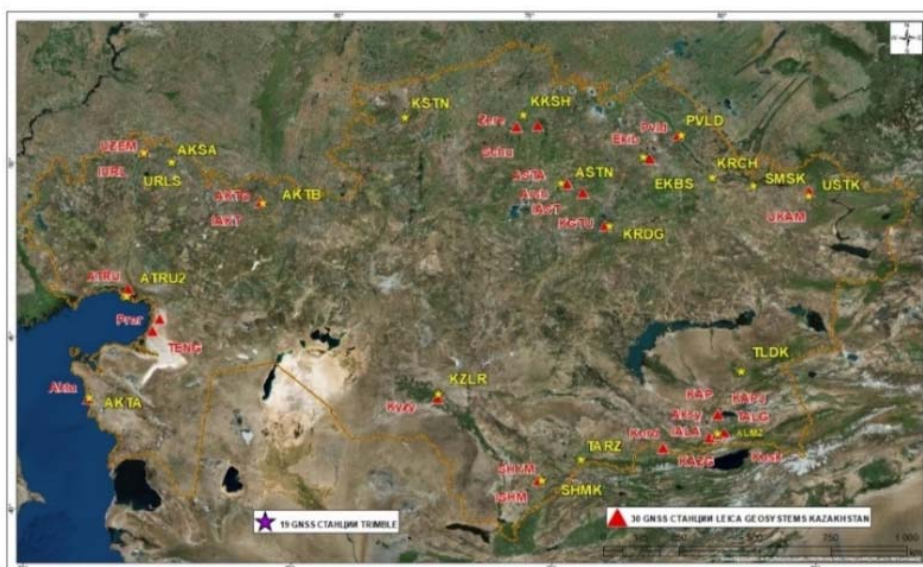


Figure 2 - Network of GPS stations “Leica Geosystems Kazakhstan” and “Trimble”

### Technique for processing GPS measurements with the GAMIT / GLOBK software package.

Currently, there are several software designed for the primary processing of GPS data. According to the results of a comparative analysis of software such as GIPSY / OASIS II [10], The BERNESE GPS software [11] and GAMIT / GLOBK [12], the research team came to the conclusion that all of the above software systems have good technical characteristics. However, with a detailed comparison of software products for processing GPS data, one can see several advantageous differences between GAMIT / GLOBK and other software [13]. The GAMIT / GLOBK software package is a non-commercial software product that is implemented free of charge for the scientific community. For this project, GAMIT / GLOBK was obtained from the site [14] of the Massachusetts Institute of Technology (MIT) in the USA. The GLOBK program [15] combines the daily coordinates of stations into long-term time series, checks the time series to identify and remove outliers, stabilizes the optimal coordinate solution with the construction of a time series of component values, and calculates displacement rates. The final GLOBK result is an “org” file that contains all the information for time series and speeds with the construction of a confidence ellipse. Based on the data obtained, using the graphic package GMT [16], time series of coordinate changes are constructed with daily discreteness for three components (North, East, Up) for each GPS station. The diagram below demonstrates the full cycle of complex processing of GPS measurements (figure 3).

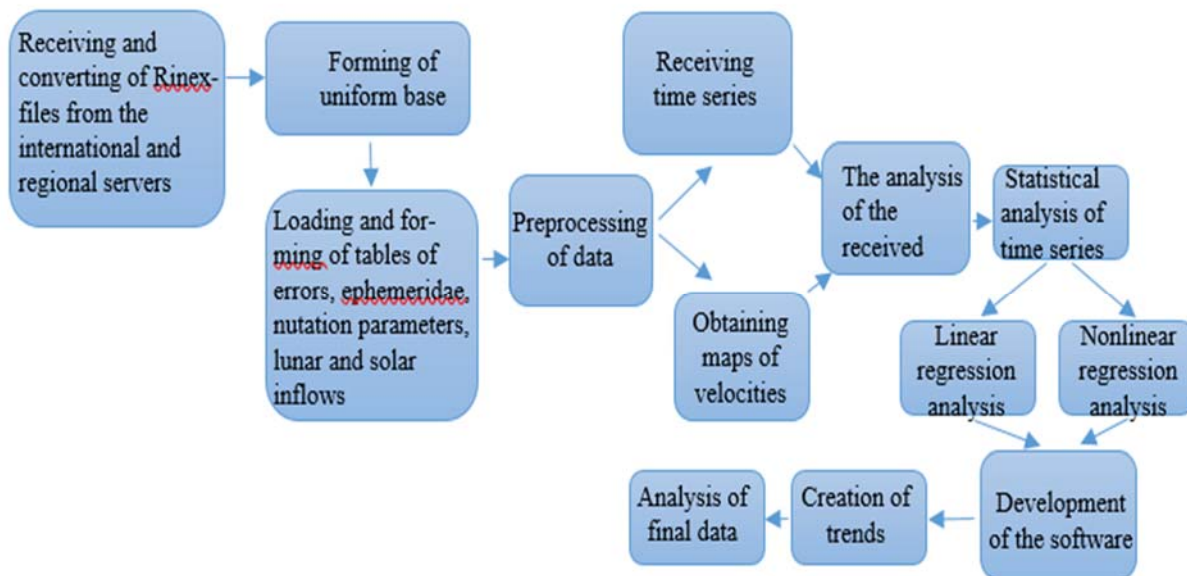


Figure 3 - Technological scheme of the GPS data processing

At each stage, intermediate results are output that can serve to assess the accuracy of the processing quality. The format of the output data is described in the manuals for the use of programs [12]. The final results of the primary processing are the following data: - the coordinates of the observation points and their errors for each processed day; - graphs of changes in the coordinates of observation points for 3 components with different discreteness (starting from the day); - the speeds of individual points and their errors in the form of tables; - maps of the field of velocity vectors of the earth's surface at various spatial scales.

According to the developed GPS data processing technique, primary data processing was carried out according to the results of observations for 2010-2017 at 11 regional stations of the Northern Tien Shan. GNSS stations are additionally included in the processing for the purpose of referencing and equalizing the coordinates of local stations in the global network. A catalog of the coordinates of GPS stations included in the processing for 2010-2017 was compiled in the EURA08 reference system (table).

The final table of speeds relative to the Eurasian continent for 2010-2017

| SUMMARY VELOCITY ESTIMATES FROM GLOBK Ver 5.201          |       |       |       |      |             |       |       |           |
|--|-------|-------|-------|------|-------------|-------|-------|-----------|
| E & N Rate E & N Adj. E & N +- RHO H Rate H adj. +- SITE |       |       |       |      |             |       |       |           |
| (deg) (deg) (mm/yr) (mm/yr) (mm/yr) (mm/yr)              |       |       |       |      |             |       |       |           |
| 4.52   | 3.05  | 4.52  | 3.05  | 1.35 | 1.45 -0.008 | 7.81  | 7.81  | 2.72CHLK  |
| 2.17   | 4.59  | 2.17  | 4.59  | 1.43 | 1.47 -0.035 | 1.54  | 1.54  | 3.47 TURG |
| -0.81  | 2.42  | -0.19 | -0.10 | 0.10 | 0.10 0.007  | 0.71  | -0.01 | 0.02 SELE |
| 1.64   | -0.32 | 1.64  | -0.32 | 1.21 | 1.26 -0.011 | 5.37  | 5.37  | 1.53 CHSH |
| 0.26   | 5.86  | 0.26  | 5.86  | 1.23 | 1.29 -0.007 | 0.24  | 0.24  | 1.68 TSHN |
| 4.06   | 1.80  | 4.06  | 1.80  | 1.33 | 1.39 0.006  | 1.88  | 1.88  | 2.54 IZVS |
| 2.27   | 1.87  | 2.27  | 1.87  | 1.25 | 1.31 0.002  | 4.25  | 4.25  | 2.02 MATB |
| 0.15   | -1.99 | 0.15  | -1.99 | 1.25 | 1.30 0.004  | 5.57  | 5.57  | 1.93 KURY |
| 0.70   | 1.52  | 0.70  | 1.52  | 1.32 | 1.43 -0.013 | -0.65 | -0.65 | 2.86 KAST |
| -1.75  | 2.55  | -0.14 | 1.83  | 0.83 | 0.83 -0.003 | 1.05  | -0.34 | 0.17CHUM  |
| -0.45  | 1.42  | 0.40  | -1.53 | 0.71 | 0.72 -0.005 | 2.03  | 0.32  | 0.17 POL2 |
| 5.96   | -14.7 | 5.96  | -14.7 | 1.24 | 1.29 -0.003 | 12.42 | 12.42 | 1.78SUMK  |
| 2.83   | 9.56  | 2.83  | 9.56  | 1.35 | 1.40 -0.007 | -5.50 | -5.50 | 2.00 KAZA |

**Conclusion.** The obtained results of processing primary data for the territories of the Northern Tien Shan are grouped in time series from 2010 to 2017 inclusive. The speed of the GPS stations was calculated as the increment of the linear trend of the series for the entire observation period. The trend corresponds to regional geodynamic surface movements due to the interaction of the Eurasian platform and the Indian plate. In addition, in a long-term series of measurements, there are such interference as significant intervals of missing values, random single emissions and due to malfunctions of recording equipment (lack of electricity, preventive maintenance, etc.) or adjustment of a priori models included in the processing.

**Ж. Ш. Жантаев, А. А. Қалдыбаев, С. М. Нұрақынов, А.С. Уразалиев, А.Б. Қайранбаева**

Ионосфера институты, «ҰҒЗТО» АҚ, Алматы, Қазақстан

### ҚАЗАҚСТАННЫҢ СЕЙСМИКАЛЫҚ ҚАУІПТІ АЙМАҚТАРЫНДАҒЫ ЖЕР ҚЫРТЫСЫНЫҢ ҚАРҚЫНДЫ ҚОЗҒАЛЫСЫН GPS МОНИТОРИНГЛЕУДІҢ ҒЫЛЫМИ-ӘДІСТЕМЕЛІК НЕГІЗДЕРІ

**Аннотация.** Әлемде соңғы 40 жылда табиғи апаттардан келген залал 9 есе өсті, ал олардың жиілігі 5 есе өсті, бұл ретте табиғи апаттардан болған экономикалық залалдың өсу қарқыны өнеркәсіптік өндіріс көлемінің өсу қарқынынан озады. Соңғы жылдары болған апаттарға бір уақытта қаза тапқан адамдардың көп саны тән (2018 жылғы Индонезиядағы жер сілкінісінен). Осыған байланысты, Біріккен Ұлттар Ұйымының, басқа да халықаралық ұйымдардың шешімдерінде және ҚР Заңында апатқа қарсы күреске үкіметтер, халықаралық ұйымдар мен ғылыми институттар енгізілуі тиіс. Төтенше жағдайлардың пайда болуының және олардың әлеуметтік сала мен қоршаған ортаға теріс әсерінің жалпы әлемдік заңдылықтарынан Қазақстан алшақ емес. Соңғы жүз жылдан бері Қазақстанның сейсмообелсенді аумақтарында Верненское (1887ж.), Шелек (1889ж.), Кеминск (1911ж.) сияқты жойқын және апатты жер сілкінісі болды, олардың соңғы екеуі бүкіл бақылау тарихындағы Еуразияның континентальды бөлігінде ең күшті болып табылады. Болашақта осындай сейсмикалық апаттардың пайда болуы өңірдің геологиялық дамуының алдыңғы кезеңдерінің және оның қазіргі геодинамикалық позициясының салдары болып табылады. Осының барлығы геодинамикалық процестердің көріністерін зерттеу, сейсмикалық белсенділіктің хабаршыларын анықтау қажеттілігін көрсетеді.

Мониторинг жүйесі-бұл уақыт аралығында бақылау, деректерді талдау және өзара байланысты шешімдер қабылдау және нақты объектінің жағдайы туралы ақпарат беретін құрылғылар мен тәсілдердің кешені. Кез келген мониторингтің мақсаты табиғи және техногендік сипаттағы төтенше жағдайларға дайындалу керектігін ескертуге мүмкіндік беретін мәліметтерді жинау, оның ішінде қауіпті процестерді пайда болу кезеңінде анықтау болып табылады.

Бұл мақалада бүкіл ел көлемінде қазіргі геодинамикалық процестерді зерттеу үшін спутниктік мониторинг қарастырылады. Ол үшін келіп түскен деректерді геодинамикалық міндеттерді шешуге бейімдеу қажет, сол арқылы сейсмикалық қауіпті аумақтарды дұрыс жабуды қамтамасыз ету қажет, бұл сейсмикалық

аудандауда және күшті жер сілкіністерін болжамдауда маңызды практикалық мәнге ие. Жер беті қозғалысын нақты уақытта мониторингілеу субмиллиметрлік дәлдікпен жылжуды қадағалауға және сейсмообелсенді аймақтарда орналасқан материктер, литосфералық плиталар сияқты жекелеген геологиялық блоктардың динамикалық жаңартылып отыратын қозғалыс карталарын құруға мүмкіндік береді. Осы деректер бойынша жер қыртысының кернеулерінің өсу жылдамдығын және деформациясын кернеудің критикалық деңгейге жетіп және жинақталған энергия жер сілкінісі түрінде босатылған сәтке дейін анықтайды. Мұндай ақпарат сейсмообелсенді аумақтардың тектоникалық процестерін зерттеуде, жер бетіндегі референстік тіректің шынайы орнын белгілеуде де ғылыми-практикалық қызығушылық танытады.

**Түйін сөздер:** жер қыртысы, жер сілкінісі қаупі бар аумақтар, спутниктік мониторинг, қозғалу деңгейі

**Ж. Ш. Жантаев, А. А. Калдыбаев, С. М. Нурақынов, А.С. Уразалиев, А.Б. Кайранбаева**

Институт ионосферы АО «НЦКИТ», Алматы, Казахстан

### **НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ GPS МОНИТОРИНГА ИНТЕНСИВНЫХ ПОДВИЖЕК ЗЕМНОЙ КОРЫ В СЕЙСМОАКТИВНЫХ РЕГИОНАХ КАЗАХСТАНА**

**Аннотация.** В мире за последние 40 лет ущерб от природных катастроф возрос в 9 раз, а их частота в 5 раз, при этом темпы роста экономического ущерба от стихийных бедствий опережают темпы роста объемов промышленного производства [1]. Для катастроф, произошедших в последние годы, характерно большое количество одновременно погибших людей (от землетрясения 2018 года в Индонезии) [2]. В связи с этим, в решениях Организации Объединенных Наций, других международных организаций и в законе РК [3] подчеркивается, что в борьбу с бедствиями должны включиться правительства, международные организации и научные институты.

Казахстан не является исключением из общемировых закономерностей возникновения ЧС и их негативного воздействия на социальную сферу и окружающую среду. За последние сто с небольшим лет в сейсмоактивных территориях Казахстана произошли разрушительные и катастрофические землетрясения, такие как Верненское (1887г.), Чиликское (1889г.), Кеминское (1911г.), последние, два из которых относятся к самым сильным на континентальной части Евразии за всю историю наблюдений. Возникновение подобных сейсмических катастроф в будущем весьма вероятно и является следствием предыдущих этапов геологического развития региона и его современной геодинамической позиции. Все это свидетельствует о необходимости изучения проявлений геодинамических процессов, выявления предвестников сейсмической активности.

Система мониторинга – это комплекс устройств и способов наблюдения на интервале времени, анализа данных и принятия решений, связанных между собой и предоставляющих информацию о состоянии конкретного объекта. Целью любого мониторинга является сбор сведений, позволяющих предупредить о подготовке чрезвычайной ситуации природного и техногенного характера, в том числе выявление опасных процессов на стадии их зарождения.

В данной статье рассматривается GPS мониторинг для изучения современных геодинамических процессов в масштабах всей страны. Для этого необходимо адаптировать поступающие данные к решению геодинамических задач и, тем самым, обеспечить достоверное покрытие сейсмоопасных территорий, что имеет важное практическое значение в сейсморайонировании и прогнозе сильных землетрясений [4]. Мониторинг движений земной поверхности в реальном времени позволяет отслеживать смещения с субмиллиметровой точностью и составлять динамически обновляемые карты движения, как материков, литосферных плит, так и отдельных геологических блоков, находящихся в сейсмоактивных областях. По этим данным определяют скорость нарастания напряжений и деформаций земной коры до момента, когда напряжение станет критическим и накопленная энергия высвободится в виде землетрясения [5]. Такая информация представляет научно-практический интерес, как при изучении тектонических процессов сейсмоактивных территорий, так и при установлении истинного положения наземного референсного каркаса.

**Ключевые слова:** земная кора, сейсмоопасные территории, GPS мониторинг, скорости смещений.

#### **Information about authors:**

Zhantayev Zhu.Sha., Institute of Ionosphere, JSC NCSRT, Almaty, Kazakhstan, Director, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Corresponding member of NAS RK; [admion1@mail.ru](mailto:admion1@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-9189-9546>;

Kaldybayev A.A., Institute of Ionosphere, JSC NCSRT, Almaty, Kazakhstan, Deputy Director for Scientific Research, doctor PhD; [azamat.kaldybayev@gmail.com](mailto:azamat.kaldybayev@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0002-0563-282X>;

Nurakynov S.M., Institute of Ionosphere, JSC NCSRT, Almaty, Kazakhstan, head of the Cartography and GIS Laboratory, PhD doctor student; [nurakynov@gmail.com](mailto:nurakynov@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0001-9735-7820>;

Urazaliyev A.S., Institute of Ionosphere, JSC NCSRT, Almaty, Kazakhstan, Head of Urban area modeling sector, PhD doctor student; aset.urazaliyev@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-7444-2897>;

Kairanbayeva A. B., Institute of Ionosphere, JSC NCSRT, Almaty, Kazakhstan, scientific secretary, doctor PhD s; kairanbaeva\_a@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9827-4082>

## REFERENCES

- [1] Decree of the Government of the Republic of Kazakhstan. About the Concept of the prevention and liquidation of natural and man-made emergencies and the improvement of the state management system in this area: approved. November 09, 2010, No. 1154.
- [2] Indonesiaearthquake: Hugedurgeindeath toll [Electronic resource] / BBCNews. 2018; <https://www.bbc.com/news/world-asia-45697553>.
- [3] Law of the Republic of Kazakhstan. On natural and man-made emergencies: approved. July 5, 1996 No. 19-I // as amended. and add. - 2014, January - 13.
- [4] Steblov G.M., Kogan M.G., Freymueller J.T., Titkov N.N., Ekstrom G., Gabsatarov Y.V., Vasilenko N.F., Nettles M., Prytkov A.S. and Frolov D.I. The size and rupture of the great 2013 deep-focus earthquake beneath the Sea of Okhotsk: constraints from GPS. // AGU Fall Meeting: California, 2013. C. 55-57.
- [5] Steblov G. M., Kogan M.G., Levin B. V., Vasilenko N. F., Prytkov A. S., Frolov D. I. The size and rupture of the great 2013 deep-focus earthquake beneath the Sea of Okhotsk: constraints from GPS. // AGU Fall Meeting: California, 2007. C. 68-70.
- [6] Zubovich A.V., Wang X., Scherba Y.G., Schelochkov G.G., Reilinger R., Reigber C., Mosienko O.I., Molnar P., Michajljow W., Makarov V.I., Li J., Kuzikov S.I., Herring T.A., Hamburger M.W., Hager B.H., Dang Y., Bragin V.D., Beisenbaev R.T. GPS velocity field for the Tien Shan and surrounding regions // *Tectonics*. – 2010. – Vol. 29. – TC6014.
- [7] 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 recent construction of the Tien Shan inferred from GPS measurements of present-day crustal deformation rates // *Nature*. Vol. 384, Issue 6608. 450 p.
- [8] Leica Geosystems Kazakhstan [Electronic resource] / Spider Business Center; <http://gnss.geosystems.kz/>
- [9] Trimble network of stations [Electronic resource] / Trimble® PivotWeb; <http://gnss.geotronics.kz/TrimblePivotWeb/Map/SensorMap.aspx>
- [10] Kaniuth K., Völksen C. Comparison of the BERNESE and GIPSY/OASIS II Software Systems Using EUREF Data // *Mitt. des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie*. 2003. Vol. 29. P.314-319
- [11] Dach R., Hugentobler U., Fridez P., Meindl M. Bernese GPS Software Version 5.0. Astronomical Institute, University of Bern, Switzerland, 2007. 640 p.
- [12] Herring T.A., King R. W., Mc Clusky S. C. Gamit: GPS Analysis at MIT. Version 10.4. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology, 2010. – 162 p.
- [13] Araszkiewicz A., Figurski M., Kroszczyński K. Combining of Gns solutions from bernese and gamit // EGU General Assembly. Vienna, 2010. p.4588.
- [14] GAMIT-GLOBK Downloads [Electronic resource] / GAMIT-GLOBK; <http://geoweb.mit.edu/~simon/gtgk/down.htm>
- [15] Herring T.A., King B.W., McClusky S.C. Global Kalman filter VLBI and GPS analysis program. Release 10.6 EAPS. MIT, 2015. p. 95.
- [16] GMT-The Generic Mapping Tools [Electronic resource].: <http://gmt.soest.hawaii.edu>