

Код МРНТИ 36.16.19

Э.О. Орынбасарова<sup>1</sup>, Р.А. Ахметов<sup>1</sup>, А.А. Балтиева<sup>2</sup>, \*А. Ерманқызы<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Satbayev University (Алматы, Казахстан),  
<sup>2</sup>Институт горного дела им.Д. Кунаева (Алматы, Казахстан)

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО МЕТОДА ПОСТОБРАБОТКИ ГНСС-ИЗМЕРЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

**Аннотация.** При выполнении ГНСС измерений важным результатом является определение координат с наиболее высокой точностью. На результат влияют два основных фактора: процесс обработки данных (алгоритм, математическая модель) и точность исходных ГНСС-данных. Актуальным является выбор наиболее точного и оптимального метода для постобработки ГНСС-данных. В статье представлен сравнительный анализ результатов обработки ГНСС измерений, выполняемых в рамках проекта по проведению комплексного мониторинга геодинамических процессов. Постобработка выполнена по двум модулям ПО Giodis, модуль multi-session и multi-site метод обработки непосредственных ГНСС-измерений, получая сантиметровую точность для базовых линий до 2000 км. Это дает возможность в условиях сильной разреженности станций сети IGS на территории Казахстана получать в любой ее точке геоцентрические координаты с точностью – на уровне первых сантиметров. Второй модуль выполняет обработку вторых разностей ГНСС-измерений, позволяя достичь миллиметровой точности на расстояниях до десятков километров, и может использоваться для высокоточных наблюдений за земной поверхностью.

**Ключевые слова:** глобальные навигационные спутниковые системы, постобработка, спутниковые измерения, базовая станция дифференциальной коррекции, геодинамический мониторинг, сдвигения земной поверхности, геоцентрические координаты, International GNSS Service, высокоточные наблюдения, средняя квадратическая ошибка.

### Геодинамикалық мониторинг жағдайында ГНСЖ-өлшемдерді өңдеуден кейінгі оңтайлы әдісті анықтау

**Аннотация.** ГНСС өлшеулерін орындау кезінде маңызды нәтиже координаттарды ең жоғары дәлдікпен анықтау болып табылады. Нәтижеге екі негізгі фактор әсер етеді: деректерді өңдеу процесі (алгоритм, математикалық модель) және ГНСС бастапқы деректерінің дәлдігі. ГНСС деректерін өңдеуден кейінгі ең дәл және оңтайлы әдісті таңдау өзекті болып табылады. Мақалада геодинамикалық процестерді кешенді бақылау жобасы аясында орындалған ГНСС өлшемдерін өңдеу нәтижелерінің салыстырмалы талдауы берілген. Кейінгі өңдеу Giodis бағдарламалық жасақтамасының екі модулінде, көп сеанстық модульде және тікелей ГНСС өлшемдерін өңдеуге арналған көп учаскелік әдісте орындалады. 2000 км дейінгі базалық сызықтар үшін сантиметрлік дәлдік алады. Бұл Қазақстан аумағындағы IGS желісі станцияларының күшті сиректігі жағдайында оның кез келген нүктесінде алғашқы бірінші сантиметрлік дәлдікпен геоцентрлік координаттарды алуға мүмкіндік береді. Екінші модуль ГНСС өлшемдерінің екінші айырмашылықтарын өңдеуді жүзеге асырады, ондаған километрге дейінгі қашықтықта миллиметрлік дәлдікке қол жеткізуге мүмкіндік береді және оны жер бетін жоғары дәлдікпен бақылау үшін пайдалануға болады.

**Түйінді сөздер:** галамдық навигациялық спутниктік жүйелер, кейінгі өңдеу, спутниктік өлшеулер, дифференциалды түзету базалық станциясы, геодинамикалық мониторинг, жер бетінің жылжуы, геоцентрлік координаттар, International GNSS Service, жоғары дәлдіктегі бақылаулар, орташа квадраттық қате.

### Determination of the optimal method for post-processing of GNSS-measurements under geodynamic monitoring conditions

**Annotation.** When performing GNSS measurements, the important result is to determine coordinates with the highest accuracy. Two main factors influence the result: the data processing process (algorithm, mathematical model) and the accuracy of the original GNSS data. The choice of the most accurate and optimal method for post-processing of GNSS data is relevant. The article presents a comparative analysis of the results of processing GNSS measurements carried out within the framework of the project on complex monitoring of geodynamic processes. The post-processing was carried out using two modules of the Giodis software, multi-session module and multi-site method of processing of direct GNSS measurements, obtaining centimeter accuracy for baselines up to 2000 km. This makes it possible in conditions of severe sparse stations in the IGS network in Kazakhstan to obtain at any point of its geocentric coordinates with accuracy – at the level of the first centimeters. The second module performs processing of the second differences of GNSS-measurements, it possible to achieve millimeter accuracy at distances of up to tens of kilometers, and can be used for high-precision observations of the earth's surface.

**Key words:** Global navigation satellite systems, data processing, satellite measurements, differential correction base station, geodynamic monitoring, surface displacements, geocentric coordinates, International GNSS Service, high-precision observations, mean square error.

### Введение

Для эффективной и безопасной разработки горнодобывающих месторождений необходимо исследовать воздействие природных и техногенных факторов на развитие деформационных процессов, что позволит оценить возможности регулирования их влияния на породный массив, земную поверхность и инженерные сооружения. Одной из актуальных проблем при интенсивном ведении добычи полезных ископаемых является изучение техногенных движений земной поверхности [1, 2]. Данная проблема решается внедрением на исследуемом объекте комплексного геодинамического мониторинга [3].

В рамках проекта для комплексного геодинамического мониторинга ведутся работы по: изучению горно-геологических и горнотехнических условий отработки месторождения; проведению периодических серий наблюдений за сдвижением земной поверхности с применением ГНСС технологий [4]; проведению ретроспективного анализа сдвижений земной поверхности с применением диффе-

ренциальной радарной интерферометрии. Объектом исследования является Жезказганское месторождение, расположенное в центральном Казахстане.

### Методы исследования

Полевые работы по спутниковому определению координат деформационных пунктов геодинамического полигона Жезказганского месторождения выполнялись в период с 14 по 17 июня 2021 года. Данные измерения являлись нулевым циклом комплекса инженерно-геодезических работ по наблюдению за деформационными процессами на геодинамическом полигоне.

Наблюдения выполнялись в режиме Статика, с продолжительностью каждого сеанса наблюдений на пункте не менее 5 часов, с применением GPS-приемников Leica Geosystems. Измерения производились на 24 пунктах, одним из которых является пункт ГГС. Выбор данного пункта триангуляции обусловлен тем, что из-за своей отдаленности от зон активной выработки он находится вне зоны

деформационных процессов. Этот пункт в дальнейшем будет служить для определения относительных сдвигов в данном регионе.

Для пост-обработки полученных данных использовалось программное обеспечение, предназначенное для высокоточной обработки спутниковых измерений Giodis [5]. Данный программный продукт по точности является приближенным к таким научным программам как Bernes и Gamit. Giodis имеет два модуля пост-обработки, метод многосеансной (multi-session) и сетевой (multi-site) обработки измерений ГНСС, и метод, выполняющий обработку вторых разностей ГНСС-измерений [6, 7].

В связи с большой удаленностью пунктов сети IGS от объекта исследования, обработка спутниковых измерений была выполнена с использованием многосеансного модуля. В качестве опорных пунктов были выбраны пункты IGS: CHUM, IRKJ, MDVJ, NVSK, POL2, TEHN, ZECK.

Основным критерием в выборе данных пунктов являлось их расположение к объекту исследований, а также расположение пунктов таким образом, что они создавали замкнутый полигон со всех сторон объекта. Как известно, одними из основных источников ошибок при спутни-

ковых наблюдениях являются неточное знание эфемерид спутников, состояние ионосферы и тропосферы, а также разности часов спутника и GPS-приемника [8, 9]. Для исключения данных ошибок в проект обработки были дополнительно подгружены скорректированные точные эфемериды, карты состояния ионосферы и тропосферы и поправки за несинхронность часов.

### Результаты исследования

Полученные среднеквадратические ошибки (СКО) пунктов сети показывают, что значения колеблются в диапазоне нескольких сантиметров. Для выявления характера и направления деформационных процессов данных значения СКО являются неприемлемыми. Одной из возможных причин больших значений СКО могла быть большая удаленность пунктов IGS, которые были приняты за исходную основу, и недостаточная продолжительность сеансов наблюдений, увеличение продолжительности наблюдений может значительно увеличить точность и уменьшить количество выбросов для коротких сессий [10]. В таблице 1 приведены конечные результаты пост-обработки данного проекта многосеансного модуля.

Таблица 1

*Конечные результаты пост-обработки проекта с использованием многосеансного модуля*

Кесте 1

*Көп сессиялы модульді қолдана отырып, жобаны өңдеуден кейінгі соңғы нәтижелер*

Table 1

*Final results of project post-processing using a multi-session module*

Имя пункта	B	L	h, м	СКО N, м	СКО E, м	СКО U, м
RP14_Line 178	47°51'34,74158"N	067°24'36,05564"E	347,9801	0,0242	0,0533	0,0651
RP07_Line 177	47°51'43,22357"N	067°24'31,00909"E	352,7594	0,0283	0,0548	0,0670
RP14_Line 175	47°51'48,53265"N	067°24'38,42122"E	350,4167	0,0240	0,0532	0,0651
RP27_Line 84	47°51'49,53034"N	067°24'50,16120"E	348,7131	0,0243	0,0532	0,0651
RP40_Line RP bis	47°52'48,46813"N	067°28'58,44098"E	362,3393	0,0345	0,0236	0,0777
RP05_Line 67	47°52'48,01059"N	067°28'43,86717"E	363,8516	0,0413	0,0243	0,0808
RP09_Line 66	47°52'59,35965"N	067°28'47,86007"E	367,5358	0,0368	0,0242	0,0781
RP19_Line 65	47°52'54,04993"N	067°28'42,06607"E	366,6639	0,0363	0,0237	0,0778
RP26_Line 30bis	47°52'29,45952"N	067°28'28,60883"E	361,9314	0,0241	0,0174	0,0241
RP02_Line 100	47°52'21,55279"N	067°28'32,47855"E	357,0425	0,0248	0,0174	0,0235
RP36_Line 30bis	47°52'26,26976"N	067°28'38,17633"E	359,1758	0,0246	0,0173	0,0244
RP19_Line 100	47°52'31,40621"N	067°28'41,85173"E	363,1907	0,0247	0,0172	0,0245
RP05_Line 212	47°53'37,46595"N	067°25'55,33720"E	385,3141	0,0189	0,0227	0,0594
RP09_Line 112	47°53'22,71666"N	067°25'44,84161"E	374,8623	0,0180	0,0227	0,0591
RP13_Line 18	47°53'16,46931"N	067°26'02,01868"E	374,2460	0,0182	0,0227	0,0592
RP04_Line 76	47°52'01,43318"N	067°26'25,36349"E	360,3716	0,0366	0,0476	0,0873
RP59_Line 23	47°52'19,38743"N	067°26'08,55192"E	369,2009	0,0378	0,0483	0,0883
RP54_Line 21	47°52'13,56688"N	067°25'55,55686"E	371,3633	0,0368	0,0477	0,0872
RP15_Line 23	47°52'01,94525"N	067°26'02,34833"E	369,1710	0,0368	0,0477	0,0871
RP99_Line 127	47°51'33,27052"N	067°26'13,17247"E	355,7892	0,0275	0,0447	0,0654
RP77_Line 127	47°51'39,59125"N	067°26'09,91814"E	358,3046	0,0274	0,0444	0,0653
RP68_Line 128	47°51'36,88821"N	067°26'06,42054"E	358,2526	0,0277	0,0444	0,0653
SAYI	47°53'04,39579"N	067°23'46,95352"E	372,5577	0,0295	0,0455	0,0675

Возможным решением возникшей проблемы могло быть наличие пункта с относительно близким расположением к объекту, в радиусе нескольких десятков километров и на котором выполнялись бы постоянные спутниковые наблюдения в режиме Статика. Продолжительность сеанса наблюдений в несколько суток могло бы обеспечить большую точность СКО, определяемого пункта при обработке в многосанном модуле. А в дальнейшем данный пункт послужил бы в качестве исходного для пост-обработки с использованием второго модуля программного обеспечения, предназначенного как раз-таки для деформационного мониторинга.

Был выбран пункт, который является базовой референционной станцией для GPS-приемников фирмы South, расположенный в городе Жезказган (ZHEZ).

Значения СКО на определяемой точке, даже с учетом большой дальности пунктов IGS от определяемого объекта, получены в диапазоне нескольких миллиметров. Исходя из этого, можно заключить, что для компенсации большой отдаленности исходных пунктов и получения большей точности необходимо выполнять спутниковые наблюдения с большей продолжительностью сеансов. Далее создали новый проект, куда были загружены сырые данные полевых наблюдений и файлы наблюдений с базовой

станции ZHEZ. Обработка данного проекта выполнялась с использованием второго (multi-site) модуля программы Giodis. Результаты пост-обработки приведены в таблице 2.

### Обсуждение результатов

Как видно, значения СКО получились в диапазоне первых миллиметров, данные значения являются пригодными для их использования при наблюдениях за деформационными процессами.

Если обратить внимание на значения СКО на пунктах RP05\_212, RP04\_110, RP09\_112 и RP13\_18, то можно заметить, что их значения выделяются на фоне остальных. При выяснении природы возникновения данных ошибок была выявлена взаимосвязь этих пунктов между собой, этой связью является то, что полевые наблюдения на данных пунктах выполнялись одновременно. Грубое значение СКО вызвано тем, что во время полевых наблюдений на данных пунктах произошел сбой в работе базовой станции ZHEZ и сырые данные на этот промежуток не были записаны.

Минимальные и максимальные значения полученных СКО в плане составили 0.8 мм и 2 мм соответственно, минимальные и максимальные значения полученных СКО по высоте составили 3.5 мм и 4.9 мм соответственно. Данные

Таблица 2

*Результаты пост-обработки проекта вторым модулем Giodis*

Кесте 2

*Екінші Giodis модулімен жобаны өңдеуден кейінгі нәтижелер*

Table 2

*Results of post-processing the project with the second Giodis module*

Имя пункта	B	L	h, м	СКО N, м	СКО E, м	СКО U, м
RP14_178	47°51'34,74123"N	067°24'36,05729"E	348,0063	0,0010	0,0010	0,0036
RP07_177	47°51'43,22332"N	067°24'31,01075"E	352,7861	0,0010	0,0009	0,0036
RP14_175	47°51'48,53231"N	067°24'38,42289"E	350,5539	0,0010	0,0009	0,0036
RP27_84	47°51'49,53001"N	067°24'50,16287"E	348,8506	0,0010	0,0010	0,0036
RP40_65bis	47°52'48,46845"N	067°28'58,44301"E	362,3564	0,0013	0,0009	0,0043
RP05_67	47°52'48,01085"N	067°28'43,86924"E	363,8681	0,0013	0,0010	0,0043
RP09_66	47°52'59,35991"N	067°28'47,86207"E	367,6655	0,0013	0,0009	0,0043
RP19_65	47°52'54,05012"N	067°28'42,06820"E	366,7917	0,0013	0,0010	0,0043
RP02_100	47°52'21,55201"N	067°28'32,47550"E	357,0670	0,0013	0,0010	0,0042
RP36_30bis	47°52'26,27001"N	067°28'38,17344"E	359,3220	0,0013	0,0011	0,0042
RP19_100	47°52'31,40644"N	067°28'41,84884"E	363,3380	0,0013	0,0011	0,0042
RP05_212	47°53'37,46343"N	067°25'55,34930"E	385,6223	1,9596	5,4692	2,5210
RP04_110	47°53'28,09060"N	067°26'01,10134"E	387,8600	0,3536	1,0810	0,4826
RP09_112	47°53'22,71640"N	067°25'44,85324"E	375,0982	0,3534	1,0810	0,4816
RP13_18	47°53'16,46878"N	067°26'02,02778"E	374,4935	2,6666	7,3649	3,4154
RP04_76	47°52'01,43317"N	067°26'25,36569"E	360,3777	0,0015	0,0012	0,0035
RP59_23	47°52'19,38744"N	067°26'08,55405"E	369,2083	0,0015	0,0012	0,0035
RP54_21	47°52'13,56688"N	067°25'55,55910"E	371,4814	0,0015	0,0012	0,0035
RP15_23	47°52'01,94524"N	067°26'02,35058"E	369,2887	0,0015	0,0012	0,0035
RP99_127	47°51'33,27001"N	067°26'13,17179"E	355,8451	0,0008	0,0011	0,0038
RP77_127	47°51'39,59074"N	067°26'09,91756"E	358,4715	0,0008	0,0010	0,0038
RP68_128	47°51'36,88773"N	067°26'06,41999"E	358,4197	0,0008	0,0010	0,0038
SAYI	47°53'04,39485"N	067°23'46,95314"E	372,6172	0,0020	0,0019	0,0049



Рис. 1, 2. Сравнение СКО по широте (В), по долготе (L) по пунктам.

Сурет 1, 2. СҚО-ны ендік бойынша салыстыру (В), бойлық бойынша салыстыру (L) тармақтар бойынша.

Figure 1, 2. Comparison of the RMS by latitude (B), by longitude (L) at points.



Рис. 3. Сравнение СКО по высоте (H) на пунктах.

Сурет 3. СҚО-ны биіктігі бойынша салыстыру (H) тармақтар бойынша.

Figure 3. Comparison of RMS by height (H) at points.

значения взяты без учета ранее названных 4 пунктов, на которых значения СКО были выше по объективным причинам.

На рисунке 1, 2 и 3 приведено графическое сравнение полученных СКО по широте (В), долготе (L) и высоте (H).

### Заклучение

В данной статье представлен анализ результатов измерений, в котором велась обработка серии спутниковых (ГНСС) наблюдений по двум модулям постобработки программного обеспечения Giodis. При проведении эксперимента сравнивались значения СКО, полученные первым и вторым методами пост-обработки, результаты позволяют сделать вывод, что второй метод, где координаты базовой станции, расположенной в непосредственной близости к объекту исследований с привязкой к сети IGS, определяются первым (multi-session) модулем, координаты пунктов объекта исследований определяются вторым (multi-site) модулем, что является более подходящим для исследований и обеспечивающим большую конечную точность с целью выявления деформационных процессов.

**Финансирование:** Проект финансируется Комитетом науки МОН РК по линии грантов для молодых ученых на научно-технические проекты 2021-2023 гг., грант №AP09058620 по теме: «Разработка WebGIS на основе комплексного геодезического мониторинга данных для месторождения ТОО «Корпорации Казахстан»».

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Vatiugin A. Предлагаемая классификация областей земной коры по уровню геодинамической угрозы. // Геодезия и геодинамика. – 2021. – Т. 12. – Вып. 1. – С. 21-30. ISSN 1674-9847. <https://doi.org/10.1016/j.geog.2020.10.002> (на английском языке)
2. Panzhin A., Panzhina N. Спутниковый геодезический геодинамический мониторинг при добыче полезных ископаемых на Урале. // Журнал горных наук. – 2013. – Т. 48.6. – С. 982-989. <https://doi.org/10.1134/S1062739148060056> (на английском языке)
3. Кафтан В., Устинов А. Повышение точности локального геодинамического мониторинга с использованием глобальных навигационных спутниковых систем. // Горный журнал. – 2015. – Вып. 10. – С. 32-37. <https://doi.org/10.17580/gzh.2015.10.06> (на русском языке)
4. Кафтан В.И., Татаринцов В.Н., Маневич А.И., Прусаков А.Н., Кафтан А. В. Оценка точности ГНСС-наблюдений на эталонном базисе как средство проверки измерительной аппаратуры локального геодинамического мониторинга // Геодезия и картография. – 2020. – Т. 81. – №7. – С. 37-46. DOI: 10.22389/0016-7126-2020-961-7-37-46 (на русском языке)
5. Иодис В. Система мониторинга деформаций компании JAVAD GNSS. // Геопрофи. – 2015. – Вып. 3. – С. 4-8 (на русском языке)

6. Дорогова И. Е., Духовников К. С. Программное обеспечение, сервисы и открытый код для решения задач геодинамики // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2022. – С. 138-145. <https://doi.org/10.33764/2618-981X-2022-1-138-145> (на русском языке)
7. Lee J., Kwon J.H., Lee H. & Park J.S. Анализ точности ортометрической высоты, полученной с помощью ГНСС, в горных районах. // Журнал Корейского общества геодезии, фотограмметрии и картографии. – 2018. – Вып. 36(5). – С. 403-412. <https://doi.org/10.7848/KSGPC.2018.36.5.403> (на английском языке)
8. Karaim M. et al. Источники ошибок ГНСС // Многофункциональная работа и применение GPS. – 2018. – Гл. 4. – С. 69-85. <https://doi.org/10.5772/intechopen.75493> (на английском языке)
9. Валайтите А.А. Анализ точности оценки зенитных тропосферных задержек, полученных с помощью метода высокоточного абсолютного местоопределения // Труды МАИ. – 2020. – Вып. №110. – С. 15. <https://doi.org/10.34759/trd-2020-110-15> (на русском языке)
10. Wang G.Q. GPS-мониторинг оползней с миллиметровой точностью с использованием точного позиционирования точек с разрешением по фазовой неоднозначности одного приемника (PPP-SRPA): тематическое исследование в Пуэрто-Рико. // Журнал геодезических наук. – 2013. – Вып. 3(1). – С. 22-31. <https://doi.org/10.2478/jogs-2013-0001> (на английском языке)

#### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Batugin A. Жер қыртысының аймақтарының геодинамикалық қауіп деңгейі бойынша ұсынылып отырған классификациясы. // Геодезия және геодинамика. – 2021. – Шығ. 12. – №1. – Б. 21-30. ISSN 1674-9847. <https://doi.org/10.1016/j.geog.2020.10.002> (ағылшын тілінде)
2. Panzhin A., Panzhina N. Уралдағы тау-кен жұмыстарын жүргізу кезінде спутниктік геодезиялық геодинамикалық бақылау. // Тау-кен ғылымдары журналы. – 2013. – Шығ. 48.6. – Б. 982-989. <https://doi.org/10.1134/S1062739148060056> (ағылшын тілінде)
3. Кафтан В., Устинов А. Фаламдық навигациялық спутниктік жүйелерді пайдалана отырып, жергілікті геодинамикалық мониторингтің дәлдігін арттыру. // Тау-кен журналы. – 2015. – Шығ. 10. – Б. 32-37. <https://doi.org/10.17580/gzh.2015.10.06> (орыс тілінде)
4. Кафтан В.И., Татаринцев В.Н., Маневич А.И., Прусаков А.Н., Кафтан А.В. Жергілікті геодинамикалық мониторингтің өлшеу жабдығын тексеру құралы ретінде анықтамалық негізде GNSS бақылауларының дәлдігін бағалау // Геодезия және картография. – 2020. – Шығ. 81. – №7. – Б. 37-46. DOI: 10.22389/0016-7126-2020-961-7-37-46 (орыс тілінде)
5. Иодис В. JAVAD GNSS деформацияны бақылау жүйесі. // Геопрофи. – 2015. – Шығ. 3. – Б. 4-8 (орыс тілінде)
6. Дорогова И.Е., Духовников К.С. Геодинамика мәселелерін шешуге арналған бағдарламалық қамтамасыз ету, қызметтер және ашық бастанқы код // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2022. – Б. 138-145 <https://doi.org/10.33764/2618-981X-2022-1-138-145> (орыс тілінде)
7. Lee J., Kwon J.H., Lee H. & Park J.S. Таулы аймақтардағы ГНСЖ ортометриялық биіктік дәлдігін талдау. // Геодезия, фотограмметрия және картография бойынша Корея қоғамының журналы – 2018. – Шығ. 36(5). – Б. 403-412. <https://doi.org/10.7848/KSGPC.2018.36.5.403> (ағылшын тілінде)
8. Karaim M. et al. ГНСЖ қателерінің көздері // GPS-тің көп функционалды жұмысы және қолданылуы. – 2018. – Бөл. 4. – Б. 69-85. <https://doi.org/10.5772/intechopen.75493> (ағылшын тілінде)
9. Валайтите А.А. Жоғары дәлдіктегі абсолютті позициялау әдісімен алынған зениттік тропосфералық кешігуді бағалаудың дәлдігін талдау // МАИ істері. – 2020. – Шығ. №110. – Б. 15. <https://doi.org/10.34759/trd-2020-110-15> (орыс тілінде)
10. Wang G.Q. Миллиметрлік дәлдік GPS көмегімен көшкіндерді бақылау бір қабылдағыш фазасының анық еместігі туралы шешімді нақты позициялау (PPP-SRPA): Пуэрто-Рикодағы жағдайды зерттеу. // Геодезиялық ғылымдар журналы. – 2013. – Шығ. 3(1). – Б. 22-31. <https://doi.org/10.2478/jogs-2013-0001> (ағылшын тілінде)

#### REFERENCES

1. Batugin A. A proposed classification of the Earth's crustal areas by the level of geodynamic threat. // *Geodesy and Geodynamics*. – 2021. – Vol. 12. – Issue 1. – P. 21-30. ISSN 1674-9847. <https://doi.org/10.1016/j.geog.2020.10.002> (in English)
2. Panzhin A., Panzhina N. Satellite geodesy-aided geodynamic monitoring in mineral mining in the Urals. // *Journal of Mining Science*. – 2013. – Vol. 48.6. – P. 982-989. <https://doi.org/10.1134/S1062739148060056> (in English)
3. Kaftan V., Ustinov A. Improving the accuracy of local geodynamic monitoring using global navigation satellite systems. // *Mining Journal*. – 2015. – Vol. 10. – P. 32-37. <https://doi.org/10.17580/gzh.2015.10.06> (In Russian)

4. Kaftan V.I., Tatarinov V.N., Manevich A.I., Prusakov A.N., Kaftan A.V. Estimation of the accuracy of GNSS observations on a reference basis as a means of checking the measuring equipment of local geodynamic monitoring // *Geodesy and cartography*. – 2020. – Vol. 81. – №7. – P. 37-46. <https://doi.org/10.22389/0016-7126-2020-961-7-37-46> (In Russian)
5. Iodis V. JAVAD GNSS deformation monitoring system. // *GEOPROFI*. – 2015. – Vol. 3. – P. 4-8 (in Russian)
6. Dorogova I.E., Dukhovnikov K.S. Software, services and open source software for solving geodynamic problems // *Interexpo Geo-Siberia*. – 2022. – P. 138-145. <https://doi.org/10.33764/2618-981X-2022-1-138-145> (in Russian)
7. Lee J., Kwon J.H., Lee H. & Park J.S. Accuracy Analysis of GNSS-derived Orthometric Height in Mountainous Areas. // *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*. – 2018. – Vol. 36(5). – P. 403-412. <https://doi.org/10.7848/KSGPC.2018.36.5.403> (in English)
8. Karaim M. et al. GNSS error sources // *Multifunctional Operation and Application of GPS*. – 2018. – Chapter 4. – P. 69-85. <https://doi.org/10.5772/intechopen.75493> (in English)
9. Valaitite A.A. Analysis of the accuracy of estimates of the zenith tropospheric delays obtained using the method of high-precision absolute positioning // *Proceedings of MAI*. – 2020. – Vol. №110. – P.15. <https://doi.org/10.34759/trd-2020-110-15> (in Russian)
10. Wang G.Q. Millimeter-accuracy GPS landslide monitoring using Precise Point Positioning with Single Receiver Phase Ambiguity (PPP-SRPA) resolution: a case study in Puerto Rico. // *Journal of Geodetic Science*. – 2013. – Vol. 3, no.1. – P. 22-31. <https://doi.org/10.2478/jogs-2013-0001> (in English)

#### Сведения об авторах

**Орынбасарова Э.О.**, PhD, зав. кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), [e.orynbassarova@satbayev.university](mailto:e.orynbassarova@satbayev.university); <https://orcid.org/0000-0001-6421-4698>

**Ахметов Р.А.**, PhD студент, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), [r.akhmetov@satbayev.university](mailto:r.akhmetov@satbayev.university); [orcid.org/0000-0002-0677-6307](https://orcid.org/0000-0002-0677-6307)

**Балтиева А.А.**, зав. лабораторией Филиала РГП «Национальный центр комплексной переработки полезных ископаемых» (г. Алматы, Казахстан), [a.baltiyeva@gmail.com](mailto:a.baltiyeva@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0003-1089-3351>

**Ержанқызы А.**, PhD студент, старший преподаватель кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), [a.yerzhankyzy@satbayev.university](mailto:a.yerzhankyzy@satbayev.university); <https://orcid.org/0000-0003-2559-3220>

#### Авторлар туралы мәліметтер

**Орынбасарова Э.О.**, PhD, «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедраның меңгерушісі, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

**Ахметов Р.А.**, PhD студенті, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

**Балтиева А.А.**, Пайдалы қазбаларды кешенді өңдеудің ұлттық орталығы «РМК филиалының зертхана меңгерушісі» (Алматы қ., Қазақстан)

**Ержанқызы А.**, PhD студент, «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының аға оқытушысы, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

#### Information about authors

**Orynbassarova E.O.**, PhD, Head of the Department of Mine Surveying and Geodesy, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

**Akhmetov R.A.**, PhD student, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

**Baltiyeva A.A.**, Head of the Laboratory of the Branch of the Republican State Enterprise «National Center for Complex Processing of Minerals» (Almaty, Kazakhstan)

**Yerzhankyzy A.**, PhD student, Senior Lecturer, Department of Mine Surveying and Geodesy, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)