

И.А. Кузнецова, М.М. Касенжанов*

Международная образовательная корпорация, Алматы, Казахстан

Информация об авторах:

Кузнецова Ирина Анатольевна – кандидат технических наук, ассоциированный профессор-исследователь, Международная образовательная корпорация, Алматы, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0003-3509-0619>, email: docent61@list.ru

Касенжанов Максат Муратович – магистрант, Международная образовательная корпорация, Алматы, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0003-0745-4059>, email: makony85@mail.ru

*Автор корреспонденции: makony85@mail.ru

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СМЕЩЕНИЙ НА ЖАМБЫЛСКОМ ГЕОДИНАМИЧЕСКОМ ПОЛИГОНЕ

Аннотация. В данной статье рассматриваются вопросы определения современных движений земной поверхности геодезическими методами на Жамбылском прогностическом геодинамическом полигоне. В статье рассмотрены характеристики прогностических полигонов в Республике Казахстан. Приведены данные вертикальных подвижек земной поверхности на территории Жамбылского ГП. Представлены результаты высокоточного нивелирования за 2020г. и 2022г., позволившие построить графики вертикальных смещений и выполнить анализ изменения положения геодезических реперов. Анализ показал, что на исследуемой территории имеются незначительные вертикальные смещения от -0.01 до -0.06 мм/год, которые не превышают допустимых возможных накоплений ошибок измерений.

Ключевые слова: геодинамический полигон, высокоточное нивелирование, вертикальные смещения.

Введение

Географическое расположение и природные условия республики Казахстан обуславливают данную территорию к природным катастрофам. Согласно карте общего сейсмического зонирования, порядка 20 процентов земель Жамбылской области, а также города Тараз находится в зоне, где интенсивность сейсмических проявлений достигает 7-8 баллов. Учитывая тот фактор, что на данную территорию приходится 8 крупных районных центров и город республиканского значения, проявление сейсмической активности такой интенсивности может привести к большим экономическим катастрофам и человеческим жертвам. Землетрясения небольшой магнитуды проявляются в Жамбылской области довольно часто. К примеру, в 2017 году на территории области зарегистрировали ряд толчков, магнитудой 3 балла, а за прошедший 2022 год число землетрясений магнитудой 4 балла и более составило 14, магнитудой 3 балла и более – 20 [1].

Тянь-Шань представляет собой один из крупнейших внутриконтинентальных орогенов Евразии и является ключевым объектом для понимания современных геодинамических процессов и эволюции Центрально-Азиатского складчатого пояса Индо-Евразийской коллизии [2].

Тянь-Шань, являясь одной из самых крупных горных систем в Азии, считается наиболее сейсмически активным районом Земли. За последнее столетие в северном Тянь-Шане наблюдались сильные землетрясения. Наиболее сильным считается Кеминское, произошедшее в 1911 году принесшее значительные разрушения и гибель людей. Сила толчка составила 10-11 баллов. Известны землетрясения, составляющие 9-10 баллов. Это Беловодское (1885), Верненское (1887), Чиликское (1889), Кашгарское (1902), Чаткальское (1946) и Суусамырское (1992). На исследуемой территории также происходили движения земной коры, имеющие значения 8-9 баллов Кеминско-Чуйское (1938), Сарыкамышское (1970), Жаланаш-Тюпское (1978). Наиболее значимыми, хотя они имеют значения от 7-8 баллов, являются Исфара-Баткенское (1977), Даравт-Курганское (1978), Кочкорское (2006), Алайское (2008). Периодически происходят менее сильные подземные толчки.

По данным того же министерства, в период с 2001 по 2011 годы в Казахстане произошли довольно мощные 5 землетрясений, магнитуда которых составила 6 баллов и более. Все эти разрушительные землетрясения нанесли значительный ущерб экономике, не обошлось и без человеческих жертв.

Катастрофические последствия землетрясений и, как следствие, сведение к минимуму количества человеческих жертв можно достичь, в случае своевременного прогноза и мониторинга сейсмически активной территории.

Главной целью мониторинга и сейсмического районирования территории, является прогноз и предупреждение предстоящих землетрясений, оперативное информирование, а также своевременное выявление изменений, происходящих на земной поверхности, и оценка критериев [3].

Одной из главных геолого-геофизических задач является прогноз землетрясений. Составными частями данной проблемы являются предсказание местоположения, интенсивности толчка, времени, а также последствий, которые скажутся на данной территории. Предвестниками землетрясений считаются не только аномальные изменения геофизических полей, но и поля наблюдаемых геодезических пунктов. Геодезические работы по определению вертикальных и горизонтальных смещений на геодинамических полигонах являются неотъемлемой частью комплекса геодезических и геофизических исследований.

Данный вид работ выполняется с целью получения достоверной информации о состоянии точек, расположенных на земной поверхности. При этом проводимые исследования позволяют судить о стабильности и взаимном положении закрепленных точек не только в пространстве, но и во времени на основе их количественных характеристик [4].

Геодезические наблюдения за современными движениями земной поверхности (СДЗП) на территории Республики Казахстан ведутся на 5 прогностических геодинамических полигонах, созданных в период с 1971 по 2006 годы. Это

Талгарский и Жамбылский геодинамические полигоны, Шелекский, Алматинский и Зайсанский.

К сожалению, после распада СССР данным работам не уделялось должного внимания и практически они не проводились. Только в 2004 году был разработан и утвержден план, в соответствии с которым были продолжены исследования на геодинамических полигонах. Начался очередной этап геодезических наблюдений на территории Казахстана. В том числе и на Жамбылском геодинамическом полигоне. Он расположен в сейсмоактивной зоне, где возможны землетрясения с интенсивностью от 8- 10 баллов.

Данный полигон практически охватывает все крупные тектонические нарушения в районе, а именно Южно-Жамбылский, Жамбылский, Михайловский, Тектурмасский, Бурултауский, Кши-Бурултауский, Ичкелетауский и Каратау-Таласский тектонические разломы. Был создан в целях микросейсмораионирования и более детального изучения СДЗП в характерной для Северного Тянь-Шаня высокой сейсмичностью.

Материалы и методы

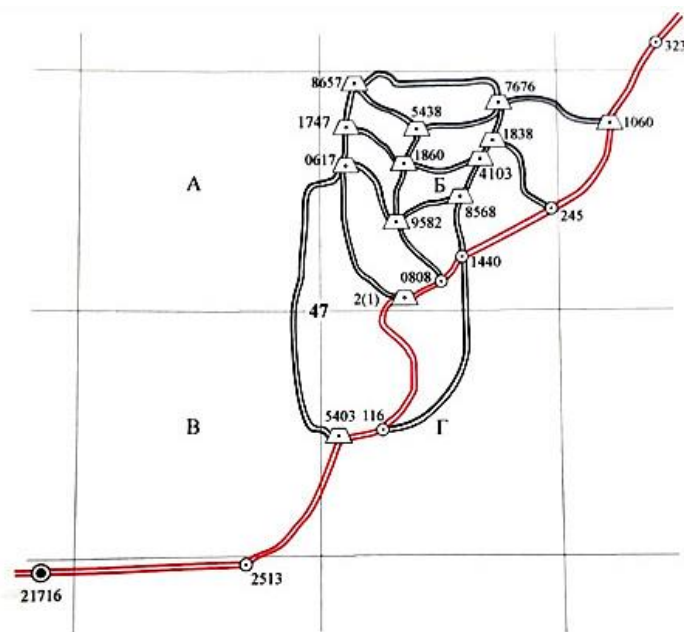
В современных методиках наблюдений СДЗП для получения результатов высокой точности при повторных наблюдениях за местоположением пунктов плановых и высотных сетей, проводят нивелирование I и II классов, а также точные GPS и ГЛОНАСС наблюдения, а также спутниковая радарная интерферометрия. Только непрерывные высокоточные ГНСС измерения совместно с наземными методами дают возможность исследовать процессы подготовки предвестников землетрясений и постсейсмической релаксации напряжений [5]. На 5 полигонах РК выполняется наблюдение методами повторного высокоточного нивелирования. Дополнительно на Алматинском (Малом) и Шелекском (Алгабасском) полигонах проводят GPS- наблюдения [4].

В статье рассмотрен актуальный вопрос сдвижения земной поверхности, выполняемый методами неоднократного высокоточного нивелирования.

Результаты и обсуждения

Нивелирование I и II классов на прогностических геодинамических полигонах служит изучению современных вертикальных перемещений поверхности земли, прогнозу и поиску предвестников землетрясений, определению активных районов и глубинных разломов, наиболее тектонически активных участков исследуемой территории. Современные горизонтальные деформации земной поверхности (СГДЗП) изучаемой территории выявляются путем анализа фиксации изменений отдельных участков геодезических сетей, происходящих между повторными циклами наблюдений. СГДЗП определяют GPS-наблюдениями, линейной, угловой или линейно-угловой триангуляцией [6].

Структура сети и схема нивелирования ГДП представлена на рис. 1.



Условные обозначения:






-  - фундаментальный репер
-  - грунтовый репер
-  - марка
-  - проектируемая линия нивелирования I класса
-  - проектируемая линия нивелирования II класса

Рисунок 1 – Схема расположения нивелирования I и II классов на Жамбылском участке Северо-Тянь-Шаньского геодинамического полигона [материал авторов]

Систематические исследования СВДЗК в районе города Тараз начали проводиться с 1970 г., когда образовался вышеуказанный полигон, и к настоящему моменту, включая измерения 2020 г., выполнено:

- по линии нивелирования I класса марка 21716 – грунт. реп. 323 выполнено 19 циклов нивелирования – 1955-56гг., 1970-71гг., 1984г., 1986-87гг., 1988-89гг., 2004г., 2005-2016г., 2020 г.;

- по линиям нивелирования II класса выполнено 16 циклов нивелирования 1987г., 1990г., 2004 - 2016г., 2020г.;

- по линиям нивелирования II класса: фонд. реп.1860 – фонд. реп.9582, фонд. реп. 4103 – фонд. реп. 9582, фонд. реп. 9582 – фонд. реп. 8568 – выполнено 18 циклов нивелирования: 1985г., 1986г., 1987г., 1990г., 2004 - 2016г., 2020г.;

- по вновь проложенным линиям нивелирования II класса от грунт. реп. 1440 до грунт. реп. 116 и от фонд. реп. 0617 до фонд. реп. 5403 выполнено 10 циклов нивелирования: 2008 - 2016г., 2020г.

Измерения на Жамбылском геодинамическом полигоне по определению вертикальных смещений участков земной поверхности на имеющихся пунктах

ленийно-угловой сети были возобновлены в 2004 году. Начиная с этого года и до 2020г. было выполнено 14 циклов наблюдений, заключающихся в выполнении нивелирования I и II классов. Полученные данные геодезических измерений, проводимых в 2020 году, показали, что на исследуемом полигоне амплитуда колебаний составляет интервал от -0.12 до +0.12 мм/год и в соответствии с формулой $\gamma \geq 3n\sqrt{L}$ не превышает возможных накоплений ошибок измерений.

Применяемая методика повторного нивелирования позволила собрать сведения, характеризующие современные вертикальные изменения земной коры на данном полигоне. Были использованы данные измерений, выполняемых по линии нивелирования I класса за 50 лет и нивелирования II класса – 18, 20 лет.

В местах пересечения тектонических разломов линиями нивелирования I и II классов сохранились ранее выявленные изменения вертикальных движений земной коры, что свидетельствует о тектонической активности Южножамбылского и Жамбылского разломов, определенных геофизическими методами.

Значения скорости вертикальных движений за 1970-71 гг, 1988-89 гг, 2004г, 2016 г, 2020 г и 2022 г приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Значения вертикальных движений знаков

Вертикальное движение знаков $V = \sum \Delta V$, мм/год						
№ знака год	1970-71	1988-89	2004	2016	2020	2022
Марка 21716	0	0	0	0	0	
Марка б\№	+0,79	+0,19	+0,09	+0,15	+0,11	
Марка 21515	+0,42	+0,22	+0,13	утрачен	утрачен	
Грунт. Реп. 7094	+0,27	+0,34	+0,20	утрачен	утрачен	
Грунт. Реп. 5343	+0,56	+0,29	+0,03	утрачен	утрачен	
Грунт. Реп. 4039	+0,69	+0,37	+0,25	+0,02	-0,07	
Марка 21570	+0,48	+0,20	+0,21	-0,01	0	-0,06
Марка 21356	+0,34	+0,20	+0,15	+0,09	утрачен	
Марка 21038	+0,27	+0,24	+0,23	+0,14	-0,12	-0,16
Грунт. Реп.4917	+0,27	+0,38	+0,33	+0,21	-0,05	-0,11
Марка 20941	+0,50	+0,26	+0,39	+0,19	-0,08	
Грунт. Реп. 4949	+0,23	+0,25	+0,45	+0,26	+0,09	
Фунд.реп. 1060	+0,24	+0,27	+0,49	+0,29	+0,12	
Марка 20828	+0,25	-0,13	+0,47	+0,26	+0,10	

Значения таблицы 2 позволили построить графики изменения характера вертикальных движений, представленных на рис. 2.

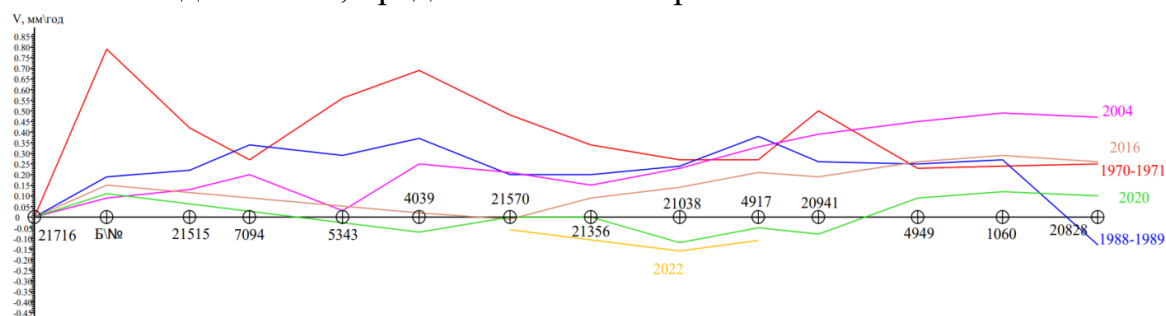


Рисунок 2 – Графики изменения характера вертикальных движений на Жамбылском геодинатическом полигоне [материал авторов]

Рассматривая каждый график по отдельности, можно сделать следующие выводы.

Наибольшие отклонения на представленных графиках приходятся на данные 1970-1971 гг. По результатам нивелирования этих лет, максимальный сдвиг приходится на марку б/№ +0.79 мм, гр.рп 7094 +0.27 мм, гр.рп 4039 +0.69 мм и марку 20941 +0.50 мм (рис. 3). Полученные данные свидетельствуют о значительных вертикальных движениях в исследуемом районе, что подтверждают данные о наиболее крупном Джамбульском землетрясении 1971 года, магнитуда которого составила 5,5 балла, а его проявление на территории города Тараз и близлежащих районах составило 7 баллов. Марка б/№, расположенная возле Каратау – Таласского тектонического разлома, а также гр.рп 7094 (Ичкелетауский разлом) и марка 20941 (пересечение Жамбылского и Тектурмасского разломов) произвели вертикальное движение вверх, а гр.рп 7094, находящийся близ Ичкелетауского разлома сдвинулся вниз (просел).

Рассматривая график изменения характера вертикальных движений за 2004 год, на котором гр.рп 5343, расположенный близ Каратау-Таласского тектонического разлома, имеет резкое значительное проседание в отличие от данных других лет, а фунд.рп 1060 – значительно поднятие вверх. Эти «скачки» также свидетельствуют об аномалиях геодинамики, что подтверждается данными МЧС об очаге Луговского землетрясения 2003 года, который находился на глубине около 14 км в районе станции Луговая. Магнитуда в эпицентре составила 5,4 балла, интенсивность проявления на поверхности – 7-8 баллов.

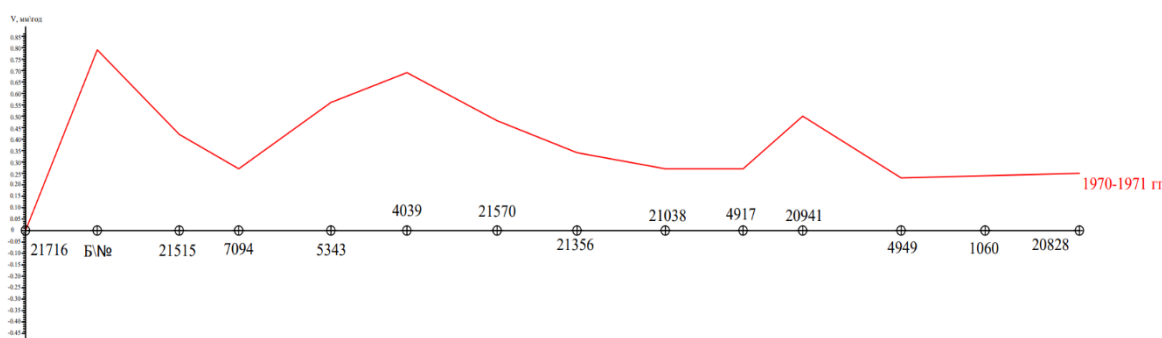


Рисунок 3 – График изменения характера вертикальных движений на Жамбылском геодинатическом полигоне по данным нивелирования 1970-1971 гг. [материал авторов]

Ниже, на рисунках 4, 5, 6, 7, 8 представлены графики, построенные по данным повторного нивелирования I класса за 1988-89 гг., 2004 г., 2016 г., 2020 г. и 2022 г.

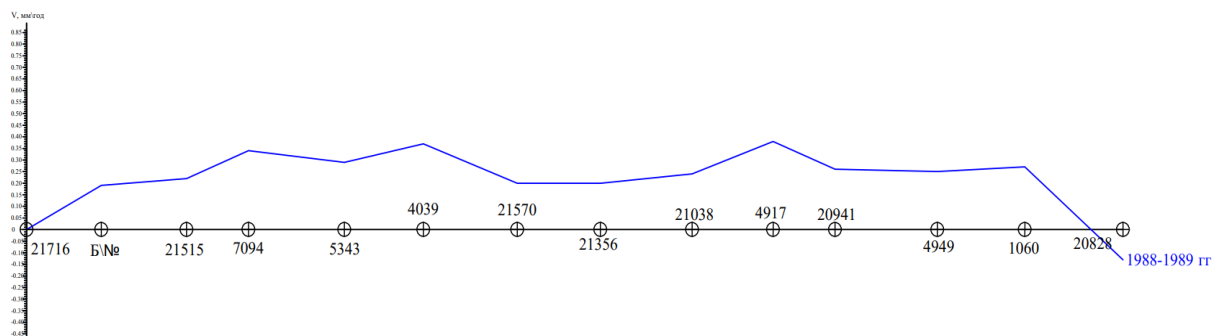


Рисунок 4 – График изменения характера вертикальных движений на Жамбылском геодинимическом полигоне по данным нивелирования 1988-1989 гг. [материал авторов]

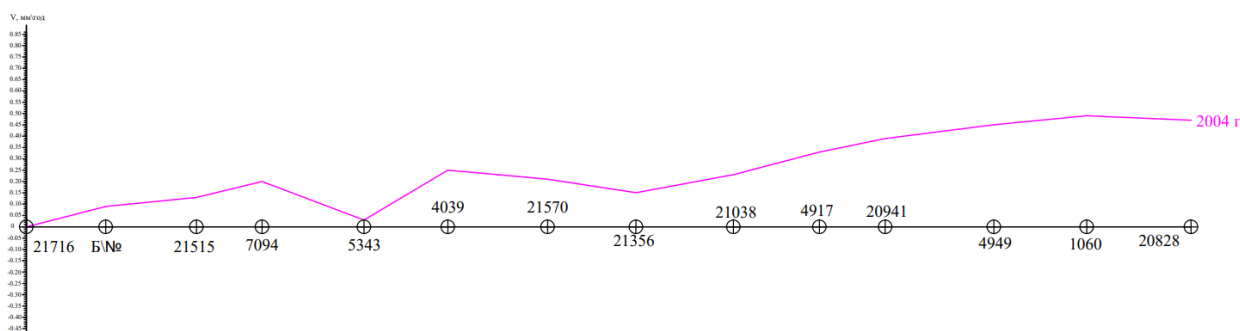


Рисунок 5 – График изменения характера вертикальных движений на Жамбылском геодинимическом полигоне по данным нивелирования 2004 г. [материал авторов]

Рассматривая график изменения характера вертикальных движений за 2004 год, на котором гр.рп 5343, расположенный близ Каратау-Таласского тектонического разлома, имеет резкое значительное проседание в отличие от данных других лет, а фунд.рп 1060 – значительно поднятие вверх. Эти «скачки» также свидетельствуют об аномалиях геодинимики, что подтверждается данными МЧС об очаге Луговского землетрясения 23 мая 2003 года, который находился на глубине около 14 км в районе станции Луговая. Магнитуда в эпицентре составила 5,4 балла, интенсивность проявления на поверхности – 7-8 баллов.

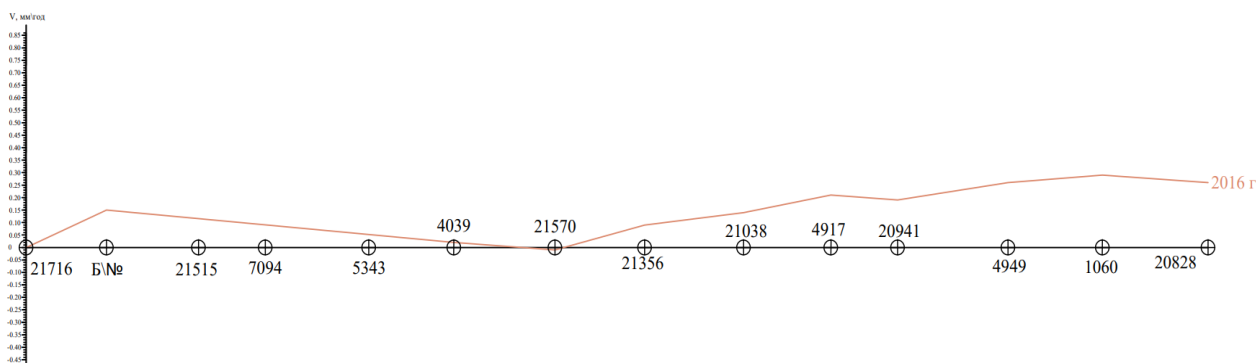


Рисунок 6 – График изменения характера вертикальных движений на Жамбылском геодинимическом полигоне по данным нивелирования 2016 г. [материал авторов]

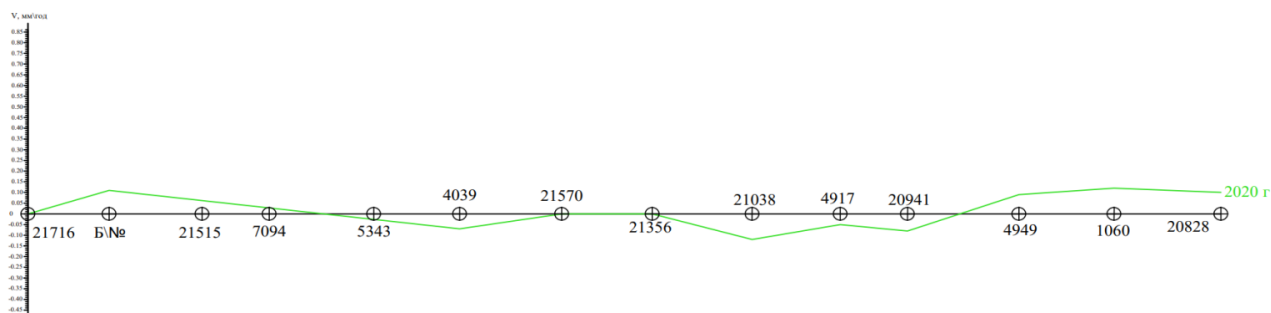


Рисунок 7 – График изменения характера вертикальных движений на Жамбылском геодинимическом полигоне по данным нивелирования 2020 г. [материал авторов]

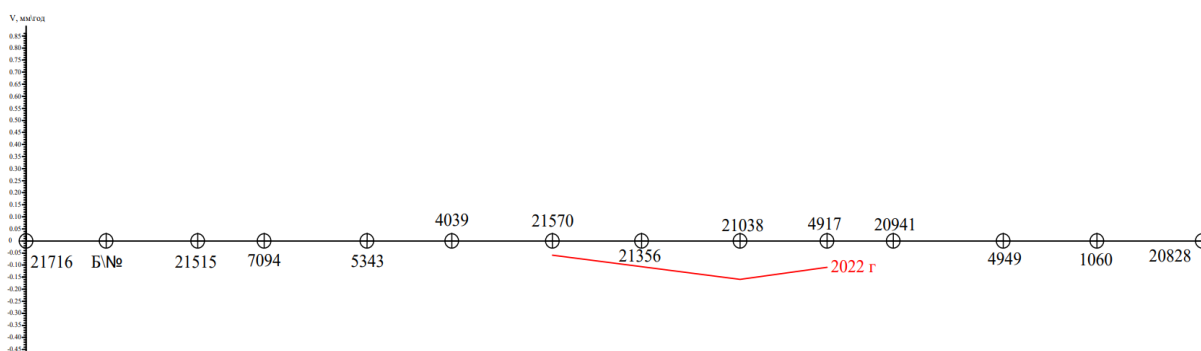


Рисунок 8 – График изменения характера вертикальных движений на Жамбылском геодинимическом полигоне по данным нивелирования 2022 г. [материал авторов]

Для дальнейшего исследования геодинимических процессов, характеризующих вертикальные смещения на исследуемой территории Жамбылского геодинимического полигона в 2022 году было выполнено повторное нивелирование на участке марка 21570 – гр.рп 4917.

Заключение

По результатам многократных геодезических измерений на Жамбылском геодинимическом полигоне можно сделать следующие выводы.

Величина смещения земной поверхности носит знакопеременный характер в течение всего периода наблюдений. Это связано с сейсмическими событиями, происходящими в северной части Тянь-Шаня и имеющих магнитуду более 5 баллов.

Смена знака смещений на противоположный знак зависит от момента, предшествовавшего сейсмической активности или момента, последовавшего за землетрясениями, также может носить случайный характер.

Полученные данные в процессе повторного нивелирования 2022 г. показали, что величины вертикальных смещений, на исследуемом участке, незначительны, так как изменения превышений по профилям имеют амплитуду от -0.01 до -0.06 мм/год и не превышают возможных накоплений ошибок измерений $\pm 3n\sqrt{L}$.

Следовательно, можно сделать вывод, что деформации земной поверхности на данной территории не имеют резко выраженного аномального характера, что подтверждается геодезическими измерениями, проводимыми на территории Жамбылского геодинимического полигона в 2020г и 2022г

Литература:

1. Земцова А.В. О развитии геодезических работ на геодинамических прогностических полигонах в республике Казахстан. Матер. междунар. конф. «Инновационные технологии сбора и обработки геопространственных данных для управления природными ресурсами». Новосибирск, Россия, 2012, 2 с.
2. Рыбин А.К., Баталева Е.А., Непейна К.С., Матюков В.Е. Объемно-пространственная сегментация литосферы Тянь-Шаня по данным геофизических исследований. *Geodynamics & Tectonophysics*. 2021, 3, 508-543.
3. Кенбаев А.А., Кузнецова И.А. Сейсмическое районирование города Алматы. Матер. междунар. науч.-техн. конф. «Современные тренды в Архитектуре и строительстве: Энергоэффективность, энергосбережение, BIM технологии, проблемы городской среды»: – Алматы, Казахстан. 2019, 111-114.
4. Темирбекова М.С., Земцова, А.В., Геодезические работы на Алматинском геодинамическом полигоне в Республике Казахстан. *Austrian Journal of Technical and Natural Sciences*. 2015, 5, 45-48.
5. Кузнецова И.А., Кенбаев А.А. Анализ горизонтальных и вертикальных смещений по результатам геодезических данных на Алматинском геодинамическом полигоне. *Вестник КазГАСА*. 2019, 4, 308-314.
6. Земцова А.В. Геодезические исследования геодинамических процессов. Учеб. пособие. 2014, 205 с.

References:

1. Zemtsova A.V. O razvitii geodezicheskikh rabot na geodinamicheskikh prognosticheskikh poligonah v respublike Kazakhstan [On the development of geodetic works on geodynamic prognostic polygons in the Republic of Kazakhstan]. *Materials of international scientific and tehn. konf. «Innovatsionnyie tehnologii sbora i obrabotki geoprostranstvennyih dannyih dlya upravleniya prirodnyimi resursami»*. Novosibirsk, Russia. 2012, 2. (in Russ.)
2. Ryibin A.K., Bataleva E.A., Nepeina K.S., Matyukov V.E. Ob'emno-prostranstvennaya segmentatsiya litosferyi Tyan-Shanya po dannyim geofizicheskikh issledovaniy [Volume-spatial segmentation of the Tien Shan lithosphere according to geophysical research data] *Geodynamics & Tectonophysics*. 2021, 3, 508-543.
3. Kenbaev A.A., Kuznetsova I.A. Seysmicheskoe rayonirovanie goroda Almatyi [Seismic zoning of the city of Almaty] *Materials of international scientific and tehn. konf. «Sovremennyye trendyi v Arhitekture i stroitelstve: Energoeffektivnost, energosberezhenie, BIM tehnologii, problemyi gorodskoy sredyi»*: – Almaty, Kazakhstan. 2019, P.111-114. (in Russ.)
4. Temirbekova M.S., Zemtsova, A.V. Geodezicheskie raboty na Almatinskoy geodinamicheskoy poligone v Respublike Kazakhstan [Geodesic researches at Almaty geodynamic polygon in the Republic of Kazakhstan] *Austrian Journal of Technical and Natural Sciences*. 2015, 5, 45-48. (in Russ.)
5. Kuznetsova I.A., Kenbaev A.A. Analiz gorizontalnyh i vertikalnyh smescheniy po rezultatam geodezicheskikh dannyih na Almatinskoy geodinamicheskoy poligone [Analysis of horizontal and vertical displacements based on the results of geodetic data at the Almaty geodynamic polygon] *Vestnik KazGASA*. 2019, 4, 308-314. (in Russ.)
6. Zemtsova A.V. Geodezicheskie issledovaniya geodinamicheskikh protsessov. Ucheb. posobie [Geodetic studies of geodynamic processes. Study guide]. 2014, 205. (in Russ.)

И.А. Кузнецова, М.М. Касенжанов*

Халықаралық білім беру корпорациясы, Алматы, Қазақстан

Авторлар туралы ақпарат:

Кузнецова Ирина Анатольевна – техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған зерттеуші профессор, Халықаралық білім беру корпорациясы, Алматы, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0003-3509-0619>, email: docent61@list.ru

Касенжанов Максат Муратович – магистрант, Халықаралық білім беру корпорациясы, Алматы, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0003-0745-4059>, email: makony85@mail.ru

ЖАМБЫЛ ГЕОДИНАМИКАЛЫҚ ПОЛИГОНЫНДАҒЫ ТІК ҚОЗҒАЛЫСТАРДЫ АНЫҚТАУ БОЙЫНША ГЕОДЕЗИЯЛЫҚ ЖҰМЫСТАР

Аңдатпа. Бұл мақалада Жамбыл болжамды геодинамикалық полигонындағы геодезиялық әдістермен жер бетінің қазіргі заманғы қозғалыстарын анықтау мәселелері қарастырылады. Мақалада Қазақстан Республикасындағы болжамдық полигондардың сипаттамалары қарастырылған. Жамбыл БП аумағындағы жер бетінің тік қозғалыстарының деректері келтірілген. Жоғары дәлдіктегі нивелирлеудің 2020 және 2022 жылдарға арналған нәтижелері ұсынылған, бұл тік жылжу графиктерін салуға және геодезиялық репердің жағдайындағы өзгерістерді талдауға мүмкіндік берді. Талдау зерттелетін аумақта $-0,01$ -ден $-0,06$ мм/жылға дейінгі шамалы тік ығысулар бар екенін көрсетті, олар өлшеу қателіктерінің рұқсат етілген шектік мәнінен аспайды.

Түйін сөздер: геодинамикалық көпбұрыш, жоғары дәлдіктегі нивелирлеу, жер бетінің тік қозғалыстары.

I.A. Kuznetsova, M.M. Kasenzhanov*

International Educational Corporation, Almaty, Kazakhstan

Information about the authors:

Kuznetsova Irina Anatolievna – Candidate of Technical Sciences, Associate research professor, International Educational Corporation, Almaty, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0003-3509-0619>, email: docent61@list.ru

Kasenzhanov Maksat Muratovich – Master's student, International Educational Corporation, Almaty, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0003-0745-4059>, email: makony85@mail.ru

GEODETIC WORKS TO DETERMINE VERTICAL MOVEMENTS AT THE ZHAMBYL GEODYNAMIC POLYGON

Abstract. This article discusses the issues of determining the current movements of the Earth's surface by geodetic methods at the Zhambyl predictive geodynamic polygon. The article discusses the characteristics of predictive polygons in the Republic of Kazakhstan. The data of vertical movements of the Earth's surface on the territory of the Zhambyl geodynamic polygon are presented. The results of high-precision leveling for 2020 and 2022 are presented, which made it possible to plot vertical displacement graphs and analyze changes in the position of geodetic reference points. The analysis showed that in the study area there are slight vertical displacements from -0.01 to -0.06 mm/year, which do not exceed the allowable possible accumulation of measurement errors.

Keywords: geodynamic polygon, high-precision leveling, vertical movements of the Earth's surface.