ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ
УДК 528.02

ORIGINAL PAPER
DOI:10.56195/20793332_2024_2_14_19

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ GPS-МОНИТОРИНГА ПРИ ИНТЕНСИВНЫХ ДВИЖЕНИЯХ ЗЕМНОЙ КОРЫ В СЕЙСМОАКТИВНЫХ РЕГИОНАХ КАЗАХСТАНА

Т. Б. Нурпеисова, А. Е. Орманбекова, Т. С. Сагит, М. Е. Бертис,
Казахский национальный исследовательский технический университет (КазНИТУ) имени К. И. Сатпаева, г. Алматы, Республика Казахстан

Аннотация: В статье приведены результаты исследований GPS-мониторинга в зоне основных тектонических разломов на территории г. Алматы. Установлено, что мониторинг движения земной коры необходим для понимания процессов, предшествующих землетрясениям, и в разработке моделей прогнозирования. Знание о движении земной коры важно для обеспечения безопасности инфраструктуры, такой как дороги, мосты и жилые здания. Результаты исследования могут быть полезны для проведения научных исследований (при мониторинге, анализе и прогнозировании сдвижения земной коры в регионах с повышенной сейсмической активностью), связанных со структурой земной коры и тектоникой региона.

Ключевые слова: GPS-мониторинг, земная кора, прогнозирование, сейсмичность, безопасность.

Для цитирования: Нурпеисова Т. Б., Орманбекова А. Е., Сагит Т. С., Бертис М. Е. Обработка результатов GPS-мониторинга при интенсивных движениях земной коры в сейсмоактивных регионах Казахстана // Маркшейдерия и недропользование. 2024. № 2. С. 14-19. DOI: 10.56195/20793332_2024_2_14_19.

PROCESSING OF GPS-MONITORING RESULTS DURING INTENSIVE MOVEMENTS OF THE EARTH'S CRUST IN SEISMICALLY ACTIVE REGIONS OF KAZAKHSTAN

T. B. Nurpeisova, A. E. Ormanbekova, T. S. Sagit, M. E. Bertis,
Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan

Abstract: The article presents the results of GPS-monitoring studies in the zone of major tectonic faults on the territory of Almaty. It has been established that monitoring the movement of the Earth's crust is necessary to understand the processes preceding earthquakes and to develop forecasting models. Knowledge of the movement of the Earth's crust is important to ensure the safety of infrastructure such as roads, bridges and residential buildings. The results of the study can be useful for conducting scientific research (when monitoring, analyzing and predicting the movement of the Earth's crust in regions with increased seismic activity) related to the structure of the Earth's crust and the tectonics of the region.

Keywords: GPS monitoring, earth's crust, forecasting, seismicity, safety.

For citation: Nurpeisova T. B., Ormanbekova A. E., Sagit T. S., Bertis M. E. Processing of GPS-monitoring results during intensive movements of the earth's crust in seismically active regions of Kazakhstan. Surveying and subsoil use. 2024;(2):14-19. (In Russ.). DOI: 10.56195/20793332_2024_2_14_19.00.

Методы геодезии – это количественные методы, позволяющие оценить движения земной поверхности (горизонтальные и вертикальные) в цифрах. Они являются частью комплексных наблюдений, выполняемых на локальных целесообразно выбранных территориях – геодинамических полигонах (ГДП), и включают в себя высокоточное нивелирование, GPS-наблюдения и линейно-угловые сети. В настоящий момент использование технологии GPS-наблюдений является наиболее распространенным методом космической геодезии.

Мегаполис Алматы характеризуется богатой сейсмической историей. Он неоднократно являлся ареной сильнейших землетрясений. Разрушительные Северо-Тяньшаньские землетрясения (Верненское, 9 июня 1887 г.), (Чиликское, 12 июля 1889 г.), (Кеминское, 4 января 1911 г.), вошедшие в число мировых катастроф, остаются самыми значительными событиями в сейсмической истории региона. Они примечательны не столько разрушительными последствиями, сколько тем, что произошли в пределах небольшого района всего за четверть века, что само по себе является редким явлением в мировой сейсмологической практике *(рис. 1)*.

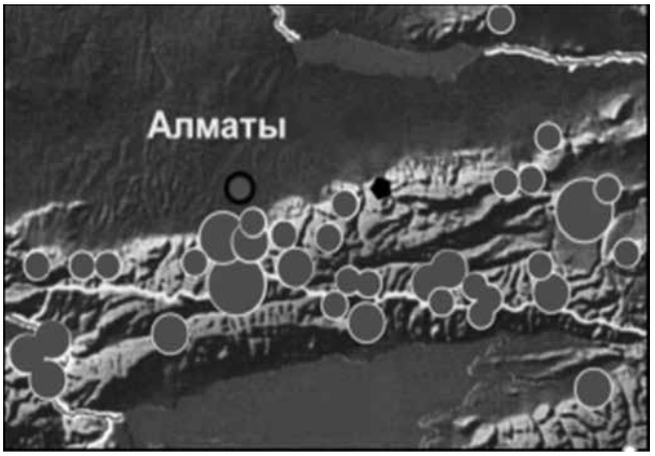


Рис. 1. Эпицентры и области распространения 8-9-балльных землетрясений на территории Заилийского и Кунгей-Алатау
Fig. 1. Epicenters and areas of distribution of 8-9-point concussions of the strongest earthquakes on the territory of Zailiysky and Kungei Alatau

Земная кора мегаполиса и сегодня неспокойна. Разбитая разломами на большие и малые блоки, она непрерывно деформируется, создавая своеобразный режим «сейсмической жизни» большого региона. Сейсмические станции ежегодно регистрируют большое количество слабых и микроземлетрясений, очаги которых распределены неравномерно. Они отмечаются как в зонах описанных выше сильных землетрясений, так и вне их [1, 2].

Сложная сейсмическая обстановка на юге Казахстана требует проведения широкого комплекса научно-практических исследований в области оценки сейсмической опасности и прогноза землетрясений. Главными структурообразующими активными разломами региона являются Алматинский, Заилийский (Байсорун-Чиликский) и Чилик-Кеминский.

Алматинский разлом прослеживается вдоль северного подножия предгорной ступени Заилийского Алатау, отделяя ее от прилегающей с севера одноименной впадины. На участке от Каскелена до г. Алматы он морфологически не выражен на поверхности вследствие перекрытия отложения конусов выноса. С Алматинским разломом связана серия слабых землетрясений, плотность эпицентров к юго-западу от Алматы достигает максимальное значение [3, 4]. По сейсмологическим данным на территории города Алматы можно выделить зоны риска и балльности в соответствии с *рисунком 2.*

Цель исследований

Ведение GPS-мониторинга в зоне основных тектонических разломов на территории г. Алматы для прогнозирования движения земной коры.

Объект исследований

В качестве исследуемых объектов выступают современные горизонтальные движения земной поверхности (СВДЗП) в зоне тектонических разломов.

Методы исследований

Методика регрессионного анализа временных рядов изменения положения станций GPS дает возможность прямой оценки деформационной составляющей движения станции к сейсмическим смещениям и постсейсмическим эффектам,

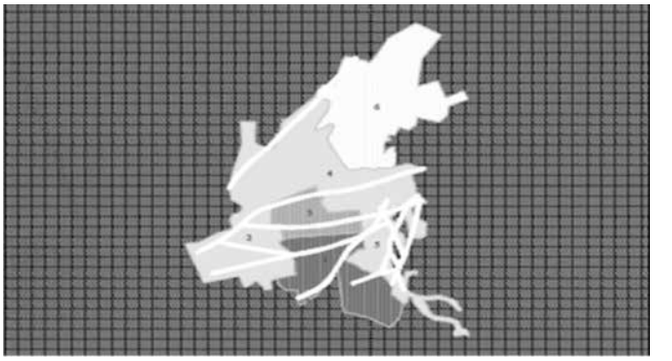
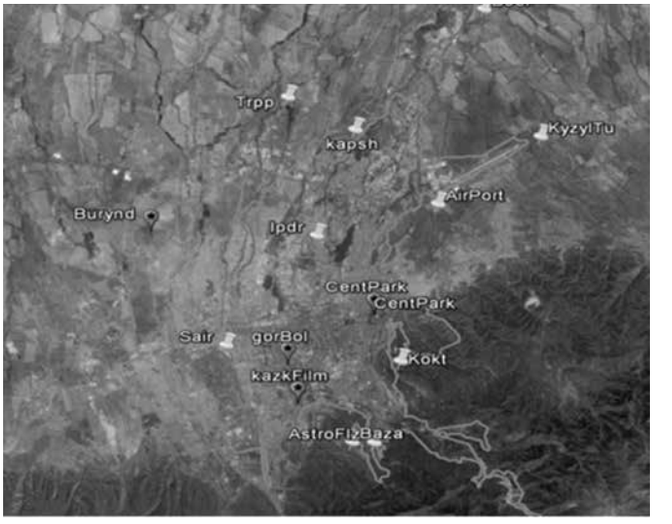


Рис. 2. Зоны риска Алматы
Fig. 2. Almaty risk zones

что в свою очередь позволяет применить данные GPS-наблюдений для исследования деформационных процессов [5]. Спутниковые технологии координатных определений имеют существенные преимущества перед традиционными. Им свойственны высокая точность, независимость от погоды и времени суток, оперативность, возможность определения координат при отсутствии взаимной видимости между пунктами. В рамках программы «Прикладные научные исследования в области космической деятельности» с 2009 года проведены работы по созданию локальных сетей GPS-измерений вокруг г. Алматы. Локальная GPS-сеть для г. Алматы состоит из 14 пунктов, месторасположения которых приведены на *рисунке 3* [6].



действующие GPS-пункты / active GPS-points;

GPS-пункты, выбывшие из сети / GPS-points that have dropped out of the network

Рис. 3. Расположение пунктов локальной GPS-сети для города Алматы
Fig. 3. Location of points of the local GPS network for the city of Almaty

Два геодезических четырехугольника сети расположены в эпицентральной зоне Верненского (1887 г.) землетрясения. В настоящее время в систему наблюдательных пунктов на Алматинском геодинамическом полигоне входят и станции GPS-наблюдений. Выполнено около 50 циклов наблю-

дений. Спутниковые определения по программе статических измерений на полигоне начались с 2004 года приемниками GPS-1200. Одновременно велись линейные измерения в сети триангуляции 1-го класса светодальномером «Дистомат DI 3000S» с лазерным излучателем.

Комбинирование традиционных наземных и спутниковых измерений позволяет достаточно успешно решать задачи определения современных движений земной поверхности (СДЗП). Анализ значений разностей наклонных дальностей, измеренных между пунктами линейно-угловой сети, указывает на процесс горизонтального сжатия территории со скоростью -0,4 мм/год [13,14].

Эти методы и материал помогают обработать данные GPS-мониторинга и понять динамику движения земной коры в сейсмоактивных регионах Алматы, что может быть важным для сейсмологических и геологических исследований, а также разработки мер по управлению рисками сейсмических событий.

Основная задача GPS-мониторинга заключается в определении движения земной коры, изменения ее высоты и горизонтальных координат [15, 16]. Выявляются процессы тектонического поднятия, опускания и горизонтального сдвига, которые могут быть связаны с сейсмической активностью. Эта техника позволяет учесть ошибки и неточности в измерениях, что особенно важно при работе с данными GPS. Зафиксированные изменения в координатах станций могут быть использованы для построения карт деформации коры и определения скоростей движения.

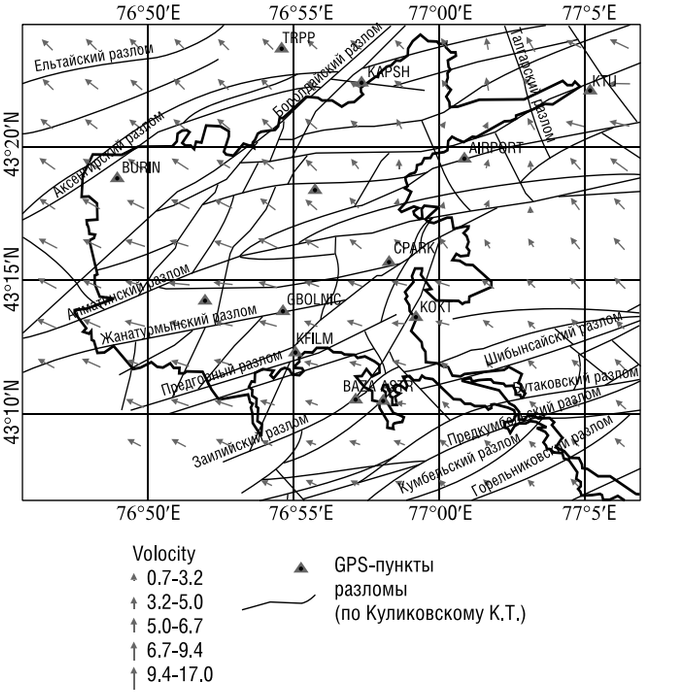


Рис. 4. Карта направления векторов скоростей опорных GPS-пунктов относительно Евразийского континента

Fig. 4. Map direction of velocity vectors of GPS reference points relative to the Eurasian continent

Таблица 1 / Table 1

Название и координаты пунктов локальной сети
Name and coordinates of local network points

№	Название пункта / Item name	Пункт / Point	Координаты / Coordinates		
			Y	X	H, м
1	База	Baza	43°10'37.1850	76°57'4.0122	1209.896
2	Астрофизика	Act2	43°10'35.7349	76°57'58.5639	1316.425
3	Коктобе	Kokt	43°13'40.7683	76°59'06.7640	925.288
4	Аэропорт	Aers	43°19'38.9931	77°0'46.2605	639.803
5	Сайран	Sair	43°14'17.5640	76°51'54.7307	757.792
6	Кызылту-4	Kzt4	43°22'13.5082	77°5'5.0653	634.481
7	Капчагайская трасса	Kpch	43°22'30.8869	76°57'20.5690	614.688
8	Байсерке	Bser	43°27'8.1595	77°2'46.2691	573.468
9	Первомайский пруд	Trpp	43°23'46.1461	76°54'32.1729	620.963
10	Ипподром	Ipdr	43°18'27.0849	76°55'42.3869	668.996
11	Бурундайское кладбище	Borl	43°18'56.6571	76°48'56.5204	727.569
12	12-я горбольница	Gorb	43°13'54.3048	76°54'36.2963	791.633
13	Казахфильм	Kazf	43°14'50.4854	76°54'15.9350	927.644
14	Центральный парк	Cprk	43°15'47.3451	76°58'12.4722	743.061
15	Узынагаш	Uzag	43°9'37.17	76°28'8	980,058

Результаты исследований

Для сбора данных при проведении мониторинга использовали станции GPS, размещенные в регионе. Эти станции непрерывно регистрировали данные о своем местоположении и времени. Результаты мониторинга GPS были использованы для оценки вероятности сейсмических событий и определения скорости и направления движения земной коры. Полученные результаты анализировались и интерпретировались исследователями для определения возможных паттернов и тенденций в движении земной коры.

Заключение

Основные результаты мониторинга на основе GPS-наблюдений на территории Алматы показывают регулярные смещения в разных плоскостях, поэтому необходимо создание сетей непрерывных региональных и локальных наблюдений, а также организация системы обработки исходных данных [17].

Полученные результаты могут использоваться в качестве составной части поисковых исследований по прогнозу землетрясений, проводимых на Алматинском геодинамическом полигоне. Наиболее глубокое раскрытие причин смещений земной поверхности с теоретической и практической точки зрения можно произвести на основе дальнейших более продолжительных и детальных геодезических работ. Для достижения этой цели важно проводить регулярный мониторинг, анализировать данные сетей GPS-станций, создавать модели сдвижения земной коры и прогнозировать потенциальные сейсмические события. Это содействует улучшению безопасности и качества жизни в сейсмоактивных регионах Казахстана.

Результаты исследований могут быть использованы в строительстве и планировании городской инфраструктуры, а также в управлении чрезвычайными ситуациями. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Деформации земной коры Тянь-Шаня по данным GPS-измерений / В. Сутякин, А. Баяндина, Д. Тулегенов [и др.] // Журнал сейсмологии и сейсмостойкости. - 2018. - № 2. - С. 44-54.
2. Satellite observations of earth crust at Almaty geodynamic polygon / M. Nurpeissova, K.T Menayakov., K.T. Kartbayeva, [et al.] // Izvestiya NAS RK. Series of Geology and Technical Sciences. - 2021. - Vol. 6, № 450. - P. 93-101.
3. *Нурпеисова, М.* Применение GPS мониторинга в оценке современных деформаций земной коры на Алматинском ГДП / М. Нурпеисова, Д. Хуаян, Ж. Т. Омиржанова // Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых: сборник 14-МНШ МУ и С. - М.: ИПКОН РАН, 2019. - С. 132-135.
4. *Картбаева, К. Т.* Изучение геодинамических процессов на территории Средней Азии и Казахстана: монография / К. Т. Картбаева, М. Б. Нурпеисова, Ж. Т. Омиржанова. - Lambert, 2020. - 125 с.
5. *Мадиева, Р. Б.* Оценка деформаций земной коры Тянь-Шаня по данным GPS / Р. Б. Мадиева, Т. В. Молодкина, А. Б. Алимбеков // В сети конференций E3S. - 2019. - № 97. - С. 04039
6. *Касымов, О. А.* Анализ новейших тектонических движений Казахского Алтая и Тянь-Шаня / О. А. Касымов, О. А. Ибадилдин, А. Абдыкадыров // Серия конференций IOP: Науки о Земле и окружающей среде. - 2017. - Т. 90, № 1. - С. 012035.
7. *Заславский, А. Ф.* Деформации земной коры в регионе Памиро-Гиндукуша по данным GPS-наблюдений / А. Ф. Заславский, Т. Б. Яновская, Д. К. Курбанова // Русская геология и геофизика. - 2016. - Т. 57, № 12. - С. 1682-1691.
8. *Сутякин, В. В.* GPS-мониторинг деформаций земной коры и его применение для оценки сейсмической опасности в Казахстане / В. В. Сутякин, А. Т. Баяндина, Д. А. Яндарбиев // Геодинамика и тектонофизика. - 2020. - Т. 11, № 2. - С. 283-294.
9. Современные методы, методики и технические средства мониторинга движений земной коры / Р. В. Шевчук, А. И. Маневич, Д. Ж. Акматов [и др.] // Горная промышленность. - 2022. - № 5. - С. 99-104.
10. *Кафтан, В. И.* Исследование движений и деформаций земной коры восточной Турции в связи с землетрясением Ван (23.10.2011 г., Mw = 7.2) с использованием данных GPS-наблюдений / В. И. Кафтан, И. Кафтан, Е. Гёк // Физика Земли. - 2021. - № 3. - С. 30-44.
11. *Стеблов, Г. М.* Взаимодействие тектонических плит в Северо-Восточной Азии / Г. М. Стеблов // Докл. Академии наук. - 2004. - Т. 394, № 5. - С. 689-692.
12. *Caiya, Y.* Present-day movement trends of the major tectonic faults in the Sichuan-Yunnan region based on the constraint of GPS velocity fields / Y. Caiya, Y. Qiang, K. T. Kartbayeva // Advances in Space Research (ASR). - 2021. - Vol. 68, № 4. - С. 1719-1731.
13. Космические исследования в Казахстане. - Алматы: Институт космических исследований, 2002. - 460 с.
14. *Бек, А. Ш.* Основы спутниковой геодезии: учебное пособие / А. Ш. Бек. - Алматы: КазНТУ, 2008. - 88 с.
15. *Тютюкова, В. А.* Определение оседаний земной поверхности по результатам совместной интерферометрической обработки данных космического радиолокационного зондирования Земли со спутников Sentinel-1a и Sentinel-1b / В. А. Тютюкова, Д. В. Голубничий, Д. Х. Гилязев // Маркшейдерия и недропользование. - 2023. - № 2(124). - С. 69-75.
16. *Мусихин, В. В.* Оценка точности определения оседаний земной поверхности Риддерского ГОКа по результатам интерферометрической обработки данных космического радиолокационного зондирования / В. В. Мусихин, В. А. Тютюкова, Н. М. Харина // Маркшейдерия и недропользование. - 2023. - № 1(123). - С. 57-63.
17. *Тесленок, С. А.* Цифровое моделирование рельефа Республики Мордовия / С. А. Тесленок, В. Ф. Манухов, К. С. Тесленок // Геодезия и картография. - 2019. - Т. 80, № 7.- С. 30-38.

REFERENCES

1. Sutyakin V, Bayandina A, Tulegenov D., et al. Deformation of the Earth's crust of the Tien Shan according to GPS measurements. *Journal of Seismology and Seismic Resistance*. 2018;20(2): 44-54 (In Russ.).
2. Nurpeissova M, Menayakov KT, Kartbayeva KT, et al. Satellite observations of earth crust at Almaty geodynamic polygon *Izvestiya NAS RK, Series of Geology and Technical Sciences*. 2021; 6(450):93-101.
3. Nurpeisova M., Huayan D, Omirzhanova ZhT. The use of GPS monitoring in assessing modern deformations of the Earth's crust at the Almaty GDP. Problems of subsoil development in the XXI century through the eyes of the young. Collection 14-MNSH MU and S. Moscow: IPCON RAS, 2019 (In Russ.).
4. Kartbaeva KT, Nurpeisova MB, Omirzhanova ZhT. The study of geodynamic processes in Central Asia and Kazakhstan (Monograph). Lambert, 2020 (In Russ.).
5. Madieva RB, Molodkina TV, Alimbekov AB. Assessment of deformations of the Earth's crust of the Tien Shan according to GPS data. *In the E3S Conference Network*. 2019;97:04039 (In Russ.).

6. Kasymov OA, Ibadildin OA, Abdikadyrov A. Analysis of the latest tectonic movements of the Kazakh Altai and Tien Shan. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciences*. 2017;90 (1):012035 (In Russ.).
7. Zaslavsky AF, Yanovskaya TB, Kurbanova DK. Deformations of the Earth's crust in the Pamir-Hindu Kush region according to GPS observations. *Russian Geology and Geophysic*s. 2016;57(12):1682-691 (In Russ.).
8. Sutyakin VV, Bayandina AT, Yandarbiev DA. GPS monitoring of crustal deformations and its application to assess seismic hazard in Kazakhstan. *Geodynamics and tectonophysics*. 2020;11(2): 283-94 (In Russ.).
9. Shevchuk RV, Manevich AI, Akmatov DJ, et al. Modern methods, techniques and technical means of monitoring the movements of the Earth's crust. *Russian Federation Mining Industr*y. 2022;5:99-104 (In Russ.).
10. Kaftan VI, Kaftan I, Gek E. Study of movements and deformations of the earth's crust of eastern Turkey in connection with the Van earthquake (23.10.2011, Mw = 7.2) using GPS observation data. *Physics of the Earth*. 2021;3:30-44 (In Russ.).
11. Steblov GM. Interaction of tectonic plates in Northeast Asia. *Dokl. Academy of Sciences*. 2004;394(5):689-92 (In Russ.).
12. Caiya Y, Qiang Y, Kartbayeva KT. Present-day movement trends of the major tectonic faults in the Sichuan-Yunnan region based on the constraint of GPS velocity fields. *Advances in Space Research (ASR)*. 2021;68(14):1719-731.
13. Space research in Kazakhstan. Almaty;2002 (In Russ.).
14. Beck AS. Fundamentals of satellite geodesy (textbook). lmaty: KazNTU; 2008 (In Russ.).
15. Tyutyukova VA, Golubnichy DV, Gilyazev DH. Determination of subsidence of the Earth's surface based on the results of joint interferometric processing of data from space radar sensing of the Earth from Sentinel-1a and Sentinel-1b satellites. *Surveying and subsoil use*. 2023;2(124):69-75 (In Russ.).
16. Musikhin VV, Tyutyukova VA, Kharina NM. Assessment of the accuracy of determining the subsidence of the Earth's surface of the Riddersky GOK based on the results of interferometric processing of space radar sensing data. *Surveying and subsoil use*. 2023;1(123):57-63 (In Russ.).
17. Teslenok SA, Manukhov VF, Teslenok KS. Digital modeling of the relief of the Republic of Mordovia. *Geodesy and cartography*. 2019;80(7):30-8. (In Russ.).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Нурпеисова Толеужан Байболовна:
кандидат технических наук,
профессор,
кафедра маркшейдерского дела и геодезии,
Казахский национальный исследовательский технический университет (КазНИТУ)
имени К. И. Сатпаева,
г. Алматы, Республика Казахстан,
e-mail: ntb_2009@mail.ru,
https://orcid.org/0000-0002-9155-6332

Орманбекова Ажар Ермековна:
старший преподаватель,
кафедра маркшейдерского дела и геодезии,
Казахский национальный исследовательский технический университет (КазНИТУ)
имени К. И. Сатпаева,
г. Алматы, Республика Казахстан,
e-mail: ormambekovaazhar@gmail.com,
https://orcid.org/0000-0003-2735-0257

Сагит Талап Саматулы:
магистрант,
кафедра маркшейдерского дела и геодезии,
Казахский национальный исследовательский технический университет (КазНИТУ)
имени К. И. Сатпаева,
г. Алматы, Республика Казахстан,
e-mail: issabayev00@gmail.com

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Nurpeissova Toleuzhan Bajbolovna:
Candidate of Technical Sciences,
Professor,
Department of Surveying and Geodesy,
Satbayev University,
Almaty, Republic of Kazakhstan,
e-mail: ntb_2009@mail.ru,
https://orcid.org/0000-0002-9155-6332

Ormambekova Azhar Ermekovna:
Senior Lecturer,
Department of Surveying and Geodesy,
Satbayev University,
Almaty, Republic of Kazakhstan,
e-mail: ormambekovaazhar@gmail.com,
https://orcid.org/0000-0003-2735-0257

Sagit Talapy Samatuly:
master's student,
Department of Surveying and Geodesy
Satbayev University,
Almaty, Republic of Kazakhstan,
e-mail: issabayev00@gmail.com

Бертис Мирас Есилулы:
магистрант,
кафедра маркшейдерского дела и геодезии,
Казахский национальный исследовательский технический университет (КазНИТУ)
имени К. И. Сатпаева,
г. Алматы, Республика Казахстан,
e-mail: bertis.m7@mail.ru

Bertis Miras:
master's student,
Department of Surveying and Geodesy,
Satbayev University,
Almaty, Republic of Kazakhstan,
e-mail: bertis.m7@mail.ru

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА / CONTRIBUTION:

Авторы заявляют о равном вкладе каждого в работу над статьей / The authors declare the equal contribution of everyone to the work on the article.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ / CONFLICT OF INTEREST:

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. / The authors declare no conflict of interest.

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Информируем Вас

Санкт-Петербургский горный университет. Основан в 1773 году. Первое высшее техническое учебное заведение в России.
Факультеты:
- Геологоразведочный факультет,
- Горный факультет,
- Механико-машиностроительный факультет,
- Нефтегазовый факультет,
- Строительный факультет,
- Факультет переработки минерального сырья,
- Факультет фундаментальных и гуманитарных дисциплин,
- Экономический факультет,
- Энергетический факультет,
- Факультет аспирантуры и докторантуры.

Контакты : Санкт-Петербург, В.О., наб. Лейтенанта Шмидта, д. 45, Главный пост.
Тел.: 800 550 14 34; (812) 328 8201; (812) 328 89 02 e-mail: priem@mgri.ru, https://www.mgri.ru/commission/poryadok-postupleniya/

WWW.N-GN.RU