

Код МРНТИ 36.23.25

*M. Amirkhanov, Y. Zhakypbek, A. Aben, N. Mussakhan
Satabayev University (Almaty, Kazakhstan)

MONITORING OF GLACIATION AND MELTING IN THE EAST KAZAKHSTAN REGION

Abstract. In the scientific field remote sensing as a research tool in the lowland steppes focuses on monitoring vegetation to assess the extent of desertification. However, monitoring individual glaciers would significantly increase the accuracy of the criteria for forecasting areas at risk. This study uses the latest methodology for monitoring glaciers using satellite images of the East Kazakhstan region (Kazakhstan). The approach involves comparing the characteristics (area) of glaciers on satellite images (TM) over a 6-year period (2016, 2019 and 2022). According to the data obtained, the author compared the size of the Berel glacier, which is one of the sources for maintaining the water supply level.

Key words: desertification, research, remote sensing, monitoring, glaciers, reduction, vegetation cover.

Шығыс Қазақстан облысындағы мұздықтардың азаюы мен еруін мониторингтеу

Аңдатпа. Ғылыми салада қашықтықтан зондтау әдісі далалы жерлерде зерттеу құралы ретінде шөлейттену ауқымын бағалау үшін өсімдіктерді бақылауға бағытталған. Дегенмен, жеке мұздықтарды бақылау қауіпті аймақтарды болжау индикаторларының дәлдігін айтарлықтай жақсартады. Бұл зерттеуде Шығыс Қазақстан облысының спутниктік суреттерін пайдалана отырып, мұздықтар мониторингінің жаңа әдістемесі пайдаланылады. Бұл тәсіл 6 жылдық кезеңдегі (2016, 2019 және 2022) спутниктік суреттердегі (TM) мұздықтардың сипаттамаларын (ауданын) салыстыруды қамтиды. Алынған мәліметтерге сәйкес, автор сумен жабдықтау деңгейін ұстап тұру көздерінің бірі болып табылатын Берел мұздығының өлшемдерін салыстырды.

Түйінді сөздер: шөлейттену, зерттеу, қашықтықтан зондтау, мониторинг, мұздықтар, еру, өсімдік жамылғысы.

Мониторинг уменьшения и таяния ледников в Восточно-Казакхстанской области

Аннотация. В научной области дистанционное зондирование как инструмент исследования в низменных степях сосредоточено на мониторинге растительности для оценки масштабов опустынивания. Однако мониторинг отдельных ледников значительно повысил бы точность критериев прогнозирования районов, подверженных риску. В этом исследовании используется новейшая методология мониторинга ледников с использованием спутниковых снимков Восточно-Казакхстанской области (Казакхстан). Подход предполагает сравнение характеристик (площади) ледников на спутниковых снимках (TM) за 6-летний период (2016, 2019 и 2022 годы). Согласно полученным данным, автор сравнил размеры ледника Берель, который является одним из источников поддержания уровня водоснабжения.

Ключевые слова: опустынивание, исследования, дистанционное зондирование, мониторинг, ледники, сокращение, растительный покров.

Introduction

A glacier is a persistent body of dense ice that is constantly moving under its own weight. A glacier forms when the accumulation of snow exceeds its ablation over many years, often centuries. A glacier characterized by a negative mass balance is not in equilibrium and confirms a fast and dramatic withdrawal. This situation causes the disappearance of some glaciers of the world and puts others in danger, providing many repercussions on the availability of natural water resources for different purposes. In the future there could be many difficulties for the agriculture irrigation, for the domestic use and for the production of hydroelectric energy; for the local economies founded on the tourism climbing; for the ecosystems founded upon the break-up of the glaciers and, in a long-term perspective, the level of the oceans could rise [1, 2].

The glaciers of Kazakhstan are the main source of irrigation and hydropower in Kazakhstan. Glaciers are huge reservoirs of fresh water. Scientists of the Institute of Geography of the National Academy of Sciences of Kazakhstan have compiled a catalog of glaciers of the republic. As a result, a map of the mountain glaciers of Kazakhstan was compiled. The areas of distribution of modern glaciers on the Kazakh land are located in the Eastern and southeastern zones – the Altai, Saur, Jungarian Alatau, Kirghiz Alatau, Ile-Alatau, Kungei Alatau, Terskey Alatau ranges. There are 2,724 glaciers in all the mountains of the republic. The area they occupy is 2,033.3 km². In the Kazakh part of Altai there are about 350 glaciers with a total area of 99.1 km².

In this article, the Berel glacier was chosen as the main object of research. The Berel glacier is located on Mount Belukha from its southeastern part in the Qaton-Qaragai park (East Kazakhstan region), mountains of the Altai. The height at which the glacier is located 2000 meters. With the help of open Internet sources, data on the main parameters of glaciers were used.

The Berel Glacier is a large and small glacier descending from the southeastern slopes of Mount Belukha in Altai. The length is about 10 km, the area is 12.5 km², and the lower edge of the glacier lies at an altitude of 1984 m and gives rise to the White Berel River. The Small Berel Glacier is about 8 km long and has an area of 8.9 km². The Berel glacier covered with rocks for a considerable length, two median and the same number of lateral moraines known on its western arm; the final moraine is semicircular and from the outside represents steep talus.

Glaciers gain mass due to snowfall and lose it due to melting and sublimation (when water evaporates directly from solid ice). Glaciers that end in a lake or ocean also lose mass due to the formation of icebergs. Those that end in the ocean are called tidal glaciers, and they have more complex cycles of advance and retreat than glaciers that end on land, at least on an annual and decadal time scale. Even with a stable climate, such glaciers can experience periods of rapid retreat, which are more influenced by various factors. In this work author have used USGS EarthExplorer platform as a source file. For the analytical part used Normalized Difference Snow Index (NDSI) was used in the ArcGIS software. Remote sensor images consist of many layers or bands created by collecting energy in specific electromagnetic spectrum wavelengths in ArcGIS [3-7].

The NDSI index allows the glacier to be distinguished correctly from every other element with similar brightness as the clouds the illuminated soil, the vegetation and the rocks [8-10].

Process of work shown in Figure 1.

Research methods

Remote sensing has been used to study environmental processes for many years. The study of space survey materials is impossible without the use of GIS technologies and remote

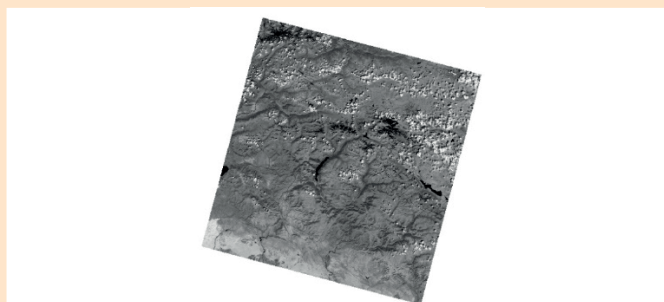


Figure 1. A fragment of a USGS satellite image.
Сурет 1. USGS ғарыштық суретінің үзіндісі.
Рис. 1. Фрагмент космического снимка USGS.

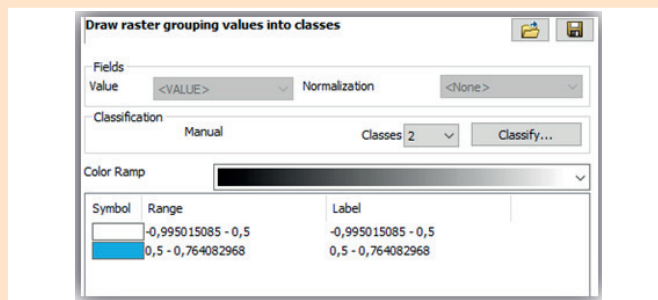


Figure 2. Classification toolbar.
Сурет 2. Жіктеу құралдар тақтасы.
Рис. 2. Панель инструментов классификации.

sensing data processing programs. The different spatial resolution of the image, the spectrum zones, and the frame size of different satellite series allow you to choose the most suitable and accessible images for solving specific tasks.

Landsat 8 TM images selected for this work. A series of American civilian Landsat satellites has been launched since 1972. The Landsat 8 satellites launched in 2013 used MSS (Multispectral Scanner) and TM (Thematic Mapper) digital equipment:

- MSS: 80 m resolution, 4 spectrum zones (green, red, two near infrared);
- TM: 30 m resolution, 7 spectrum zones (blue, green, red, near infrared (IR), two medium IR, far IR).

The size of the Landsat frame is 185x170 km. Landsat 8 stopped its work quite recently – in February 2013. Images from this satellite were used in our work.

Multispectral digital images with a spatial resolution of 30 m were obtained through the Earth Explorer service of the US Geological Survey. All of them are presented in the UTM cartographic projection based on the WGS-84 coordinate reference system, i.e. they have already been pre-processed.

The Landsat Collection 2 Normalized Difference Snow Index (NDSI) is the normalized difference between green (G) spectral bands and shortwave infrared radiation (SWIR).

The processing of remote sensing of the Earth has recently been increasingly closely integrated with Geographic Information Systems (GIS). ArcGIS package provides a wide range of tools for working with raster data, which makes it possible to process remote sensing and use GIS analytical functions.

In this work author used «The Maximum Similarity Classification tool». This tool based on maximum likelihood probability theory. It assigns each pixel to one of the classes based on the averages and variances of the class signatures (stored in the signature file). This tool is also available and shown Figure 2. The probability that snow is present is proportional to how close the NDSI pixel value is to 1 (range – 1 to 1). In this work, an index of 0.5 was used for detailed processing.

Results

The processing of remote sensing of the Earth has recently been increasingly closely integrated with Geographic Informa-

tion Systems (GIS). ArcGIS package provides a wide range of tools for working with raster data, which makes it possible to process remote sensing and use GIS analytical functions.

The Berel glacier consists of two parts. This is a «Big» and «Small» glacier. They descend from the southeastern slopes of Mount Belukha in Altai. The Berel glacier is covered with rocks for a considerable length, two median and the same number of lateral moraines are known on its western arm; the final moraine is semicircular and from the outside presents steep talus.

The process of melting of the Berel glaciers began to be noticed at the beginning of the 21st century. However, the accelerated process began to emerge in the last 10 years. Figure 3 clearly show the above changes.

Ultimately, the author made overlays for visual effect. The Figure 4 shows comparison of Berel glacier's area in 2016, 2016 and 2022 years.

Discussion of results

In this research work by calculating the NDSI snow cover index, results were obtained on the state of the areal indicators of the Berel glacier. In the main part of the work, using the basic tools of the ArcGIS software, it was possible to compare the areas of the Berel glacier and track the dynamics of changes in this indicator. The Figure 5 shows areal size of Berel glacier in 2016, 2019 and 2022 years. The amount of «Sum» in the «Statistics» panel demonstrates areal size in km². A graph is a visual representation of the dependence of one quantity on another. The author created a graph of changing areal size of Berel glacier among 6 years.

Conclusion

Changes and melting of glaciers is an environmental problem and may entail other problems from different spheres. glaciology is the science of natural ice. It explores glaciers, snow cover, snowfields, ice, river, sea and underground ice and related dangerous phenomena – snow drifts on roads, snow and ice avalanches and sudden movements of glaciers, glacial lakes and glacial mudflows associated with them, snow loads on the floors of engineering structures, soil deformation during the melting of permafrost.

Therefore, it is simply vital for Kazakhstan to be aware of everything that is happening in these areas of natural phenomena, especially since the issue of not only the sharp melting of

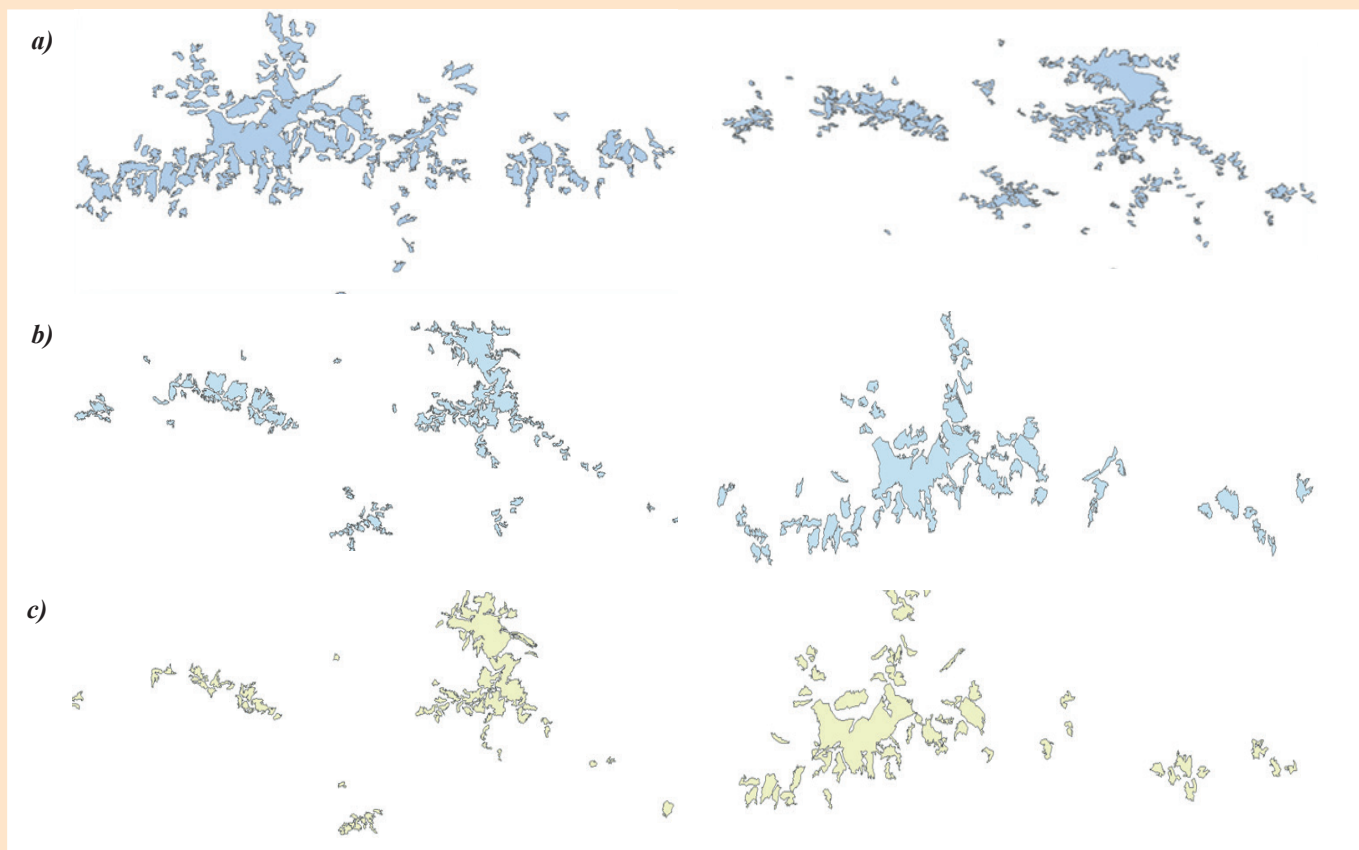


Figure 3. Berel Glacier in 2016, 2019 and 2022.
 Сурет 3. Берел мұздығы 2016, 2019 және 2022 жылдары.
 Рис. 3. Берельский ледник в 2016, 2019 и 2022 г.



Figure 4. Berel Glacier in 2016, 2019 and 2022.
 Сурет 4. Берел мұздығы 2016, 2019 және 2022 жылдары.
 Рис. 4. Берельский ледник в 2016, 2019 и 2022 г.

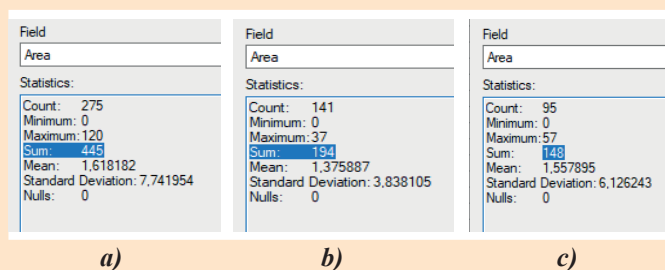


Figure 5. Areal size of Berel glacier in 2016, 2019 and 2022.
 Сурет 5. 2016, 2019 және 2022 жылдары Берел мұздығының аудандық көрсеткіші.
 Рис. 5. Площадь ледника Берель в 2016, 2019 и 2022 г.

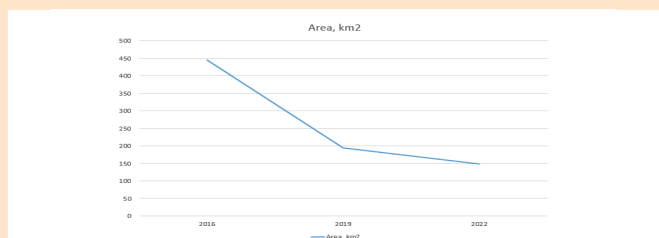


Figure 6. Graph of changing areal size of Berel glacier in 2016, 2019 and 2022.
 Сурет 6. 2016, 2019 және 2022 ж. Берел мұздығының аудандық көрсеткішінің өзгеру кестесі.
 Рис. 6. График изменения площади ледника Берель в 2016, 2019 и 2022 годах.

glaciers, but also the shortage of clean drinking water in the Central Asian region in the past couple of decades has been repeatedly raised in the republic.

This research was funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No.AP19576993).

REFERENCES

1. Braun L.N., Weber M. & Schult M. Consequences of climate change for runoff from Alpine regions. // *Annals of Glaciology*. – 2016. – Vol. 31 – P. 19-25 (In English)
2. Jorge Sebastián Moraga, Nadav Peleg, Simone Fatichi, Peter Molnar, Paolo Burlando. Revealing the impacts of climate change on mountainous catchments through high-resolution modeling. // *Journal of Hydrology*. – 2021. – Vol. 603. – Part A. – P.1-13 (In English)
3. Efficiency of Classification Techniques for Sachen and Rupal Glaciers Variation during 1972 – 2010. Muhammad S., Gul C., Muneer J., Waqar M. Efficiency of Classification Techniques for Sachen and Rupal Glaciers variation during 1972-2010. // 2013 International Conference on Aerospace Science & Engineering (ICASE). – 2013. – P. 1-3 (In English)
4. Hall D.K., Ormsby J.P., Bindschadler R.A. & Siddalingaiah H. Characterization of snow and ice reflectance zones on glaciers using Landsat TM data. // *Annals of Glaciology*. – 2017. – Vol. 9. – P. 104-108 (In English)
5. Pope E.L., Willis I.C., Pope, A., Miles E.S., Arnold N.S., Rees W.G. Contrasting Snow and Ice Albedos Derived from MODIS, Landsat ETM+ and Airborne Data from Langjökull, Iceland. // *Remote Sensing of Environment*. – 2016. – Vol. 175. – P. 183-195 (In English)
6. Wehrlé A., Box J.E., Niwano M., Anesio A.M., Fausto R.S. Greenland Bare-Ice Albedo from PROMICE Automatic Weather Station Measurements and Sentinel-3 Satellite Observations. // *Geological Survey of Denmark and Greenland Bulletin*. – 2021. – Vol. 47. – P. 1-9 (In English)
7. Dozier J. Spectral signature of Alpine snow cover from the Landsat Thematic Mapper. // *Remote Sensing of Environment*. – 2019. – Vol. 28. – P. 9-22 (In English)
8. Timbo Stillinger, Karl Rittger, Mark S. Raleigh, Alex Michell, Robert E. Davis and Edward H. Bair. Landsat, MODIS, and VIIRS snow cover mapping algorithm performance as validated by airborne lidar datasets. // *The Cryosphere*. – 2023. – Vol. 17. – P. 567-590 (In English)
9. Bair E.H., Stillinger T. and Dozier J. Snow Property Inversion From Remote Sensing (SPIReS): A Generalized Multispectral Unmixing Approach With Examples From MODIS and Landsat 8 OLI. // *Institute of Electrical and Electronics Engineers, TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING*. – 2021. – Vol. 59. – №9 (In English)
10. Currier W.R., Pflug J., Mazzotti G., Jonas T., Deems J.S. and Bormann K.J. Comparing aerial lidar observations with terrestrial lidar and snow-probe transects from NASA's 2017 SnowEx campaign. // *Water Resources Research*. – 2019. – Vol. 55. – P. 6285-6294 (In English)

ПАЙДАЛАНАҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Braun L.N., Weber M. & Schult M. Альпі аймақтарының еруі салдарынан климаттың өзгеруі. // *Гляциология жылнамалары*. – 2016. – Шығ. 31. – Б. 19-25 (ағылшын тілінде)
2. Jorge Sebastián Moraga, Nadav Peleg, Simone Fatichi, Peter Molnar, Paolo Burlando. Жоғары ажыратымдылықтағы модельдеу арқылы таулы дренажды бассейндер үшін климаттың өзгеруінің әсерін анықтау. // *Гидрология журналы*. – 2021. – Шығ. 603. – Бөл. А. – Б. 1-13 (ағылшын тілінде)
3. Muhammad S., Gul C., Muneer J., Waqar M. 1972-2010 жылдар аралығында Сачен мен Рупал мұздықтарының өзгеруін жіктеу әдістерінің тиімділігі. 2013 аэроғарыштық ғылым және инженерия бойынша халықаралық конференция (ICASE). – 2013. – Б. 1-3 (ағылшын тілінде)
4. Hall D.K., Ormsby J.P., Bindschadler R.A. & Siddalingaiah H. Landsat TM деректерін пайдалана отырып мұздықтардағы қар мен мұздың шағылысу аймақтарының сипаттамасы. // *Гляциология жылнамалары*. – 2017. – Шығ. 9. – Б. 104-108 (ағылшын тілінде)
5. Pope E.L., Willis I.C., Pope, A., Miles E.S., Arnold N.S., Rees W.G. Modis, Landsat ETM+ және Исландияның Лангжюкулль қаласынан алынған қар мен мұздың контрастты альбедосы. // *Қоршаған ортаны қашықтықтан зондау*. – 2016. – Шығ. 175. – Б. 183-195 (ағылшын тілінде)
6. Wehrlé A., Box J.E., Niwano M., Anesio A.M., Fausto R.S. Ренландияның жалаңаш мұз альбедосы PROMISE және Sentinel-3 Автоматты метеостанцияларының өлшемдері бойынша. // *Дания мен Гренландия геологиялық қызметінің хабаршысы*. – 2021. – Шығ. 47. – Б. 1-9 (ағылшын тілінде)
7. Dozier J. Landsat тақырыптық картографының көмегімен альпілік қар жамылғысының спектрлік сипаттамасы. // *Қоршаған ортаны қашықтықтан зондау*. – 2019. – Шығ. 28. – Б. 9-22 (ағылшын тілінде)

8. Timbo Stillinger, Karl Rittger, Mark S. Raleigh, Alex Michell, Robert E. Davis and Edward H. Bair. Landsat, MODIS және VIIRS қар жамылғысын картаға түсіру алгоритмдерінің тиімділігі борттық лидар деректер жиынтығымен расталған. // Криосфера. – 2023. – Шығ. 17. – Б. 567-590 (ағылшын тілінде)
9. Bair E.H., Stillinger T. and Dozier J. MODIS және Landsat 8 OLI мысалдарымен араласпауға жалпыланған көп спектрлі тәсіл. // Электротехника және электроника инженерлері институты, Жер туралы ғылымдар және қашықтықтан зондау бойынша еңбектер. – 2021. – Шығ. 59. – №9 (ағылшын тілінде)
10. Currier W.R., Pflug J., Mazzotti G., Jonas T., Deems J.S. and Bormann K.J. 2017 жылы NASA ның SnowEx науқаны аясында аэрофототүсірілім лидар бақылауларын жердегі лидар және қар зондтарымен салыстыру. // Су ресурстарын зерттеу. – 2019. – Шығ. 55 – Б. 6285-6294 (ағылшын тілінде)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Braun L.N., Weber M. & Schult M. Последствия изменения климата для стока из альпийских регионов. // Анналы гляциологии. – 2016. – Вып. 31. – С. 19-25 (на английском языке)
2. Jorge Sebastián Moraga, Nadav Peleg, Simone Fatichi, Peter Molnar, Paolo Burlando. Выявление последствий изменения климата для горных водосборных бассейнов с помощью моделирования с высоким разрешением. // Журнал гидрологии. – 2021. – Вып. 603. – Ч. А. – С. 1-13 (на английском языке)
3. Muhammad S., Gul C., Muneer J., Waqar M. Эффективность методов классификации изменений ледников Сачен и Рупал в период с 1972 по 2010 гг. // Международная конференция по аэрокосмической науке и технике 2013 г. (ICASE) – 2013. – С. 1-3 (на английском языке)
4. Hall D.K., Ormsby J.P., Bindschadler R.A. & Siddalingaiah H. Характеристика зон отражения снега и льда на ледниках с использованием данных Landsat TM. // Анналы гляциологии. – 2017. – Вып. 9. – С. 104-108 (на английском языке)
5. Pope E.L., Willis I.C., Pope A., Miles E.S., Arnold N.S., Rees W.G. Контрастные альbedo снега и льда, полученные с помощью MODIS, Landsat ETM+ и бортовых данных из Лангйокюдя, Исландия. // Дистанционное зондирование окружающей среды. – 2016. – Вып. 175. – С. 183-195 (на английском языке)
6. Wehrle A., Vox J.E., Niwano M., Anesio A.M., Fausto R.S. Альbedo голого льда Гренландии по данным измерений автоматической метеостанции PROMICE и спутниковых наблюдений Sentinel-3. // Бюллетень геологической службы Дании и Гренландии – 2021. – Вып. 47. – С. 1-9 (на английском языке)
7. Dozier J. Спектральная сигнатура альпийского снежного покрова с помощью тематического картографа Landsat. // Дистанционное зондирование окружающей среды. – 2019. – Вып. 28. – С. 9-22 (на английском языке)
8. Timbo Stillinger, Karl Rittger, Mark S. Raleigh, Alex Michell, Robert E. Davis, Edward H. Bair. Эффективность алгоритмов картографирования снежного покрова Landsat, MODIS и VIIRS подтверждена бортовыми наборами лидарных данных. // Криосфера. – 2023. – Вып. 17. – С. 567-590 (на английском языке)
9. Bair E.H., Stillinger T., Dozier J. Инверсия свойств снега с помощью дистанционного зондирования (SPIReS): Обобщенный мультиспектральный подход без смешивания с примерами из MODIS и Landsat 8 OLI. // Институт инженеров электротехники и электроники, Труды по наукам о земле и дистанционному зондированию. – 2021. – Вып. 59. – №9 (на английском языке)
10. Currier W.R., Pflug J., Mazzotti G., Jonas T., Deems J.S., Bormann K.J. Сравнение аэрофотосъемочных наблюдений с наземными лидарными и снегонзондовыми разрезами из кампании НАСА SnowEx 2017 года. // Исследование водных ресурсов. – 2019. – Вып. 55. – С. 6285-6294 (на английском языке)

Information about the authors:

Amirkhanov M., Master's degree student at the Department of Mine Surveying and Geodesy of the Mining and Metallurgical named after O.A. Baikonurov, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan), mirasamirkhanov@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0009-3378-2778>

Zhakyrbek Y., PhD, Associate Professor at the Department of Mine Surveying and Geodesy of the Mining and Metallurgical Institute named after O.A. Baikonurov, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan), y.zhakyrbek@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0002-2474-9927>

Aben A., Master of Technical Sciences, lecturer at the Department of Mine Surveying and Geodesy of the Mining and Metallurgical Institute named after O.A. Baikonurov, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan), a.aben@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0001-6222-8631>

Mussakhan N., Master's degree student at the Department of Mine Surveying and Geodesy of the Mining and Metallurgical named after O.A. Baikonurov, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan), musanaznur@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0009-5610-2712>

Авторлар туралы мәлімет:

Амирханов М.Е., Satbayev University, О.А. Байқоңыров атындағы Тау-кен металлургия институты, «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының магистранты (Алматы қ., Қазақстан)

Жакыпбек Ы., PhD, Satbayev University, О.А. Байқоңыров атындағы Тау-кен металлургия институты, «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының қауымдастырылған профессоры (Алматы қ., Қазақстан)

Әбен А.С., т.ғ.м., Satbayev University, О.А. Байқоңыров атындағы Тау-кен металлургия институты, «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының оқытушысы (Алматы қ., Қазақстан)

Мусахан Н.Н., Satbayev University, О.А. Байқоңыров атындағы Тау-кен металлургия институты, «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының магистранты (Алматы қ., Қазақстан)

Сведения об авторах:

Амирханов М.Е., магистрант кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», Горно-металлургический институт им. О.А. Байконура, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

Жакыпбек Ы., PhD, ассоциированный профессор кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», Горно-металлургический институт им. О.А. Байконура, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

Әбен А.С., м.т.н., преподаватель кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», Горно-металлургический институт им. О.А. Байконура, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

Мусахан Н.Н., магистрант кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», Горно-металлургический институт им. О.А. Байконура, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)



ВЫСТАВКА «ГАЗ. НЕФТЬ. НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ – КРАЙНЕМУ СЕВЕРУ»

в рамках
ЯМАЛЬСКОГО
НЕФТЕГАЗОВОГО
ФОРУМА

СИБЭКС SERVICE

ООО «Выставочная компания Сибэкспосервис», г. Новосибирск

Тел.: +7 (383) 335-63-50, e-mail: vkses@yandex.ru, www.ses.net.ru

27-28 МАРТА

г. Новый Уренгой
2024

