

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ЦЕНТР ИЗУЧЕНИЯ ЛЕДНИКОВ НАЦИОНАЛЬНОЙ
АКАДЕМИИ НАУК ТАДЖИКИСТАНА»**



КРИОСФЕРА CRYOSPHERE

№ 3 (11) 2023

Душанбе
2023



ISSN 2789-8326

КРИОСФЕРА

Муассиси маҷалла:

МУАССИСАИ ДАВЛАТИИ ИЛМИИ «МАРКАЗИ ОМУЌИШИ ПИРЯХҲОИ АКАДЕМИЯИ МИЛЛИИ ИЛМҲОИ ТОҶИКИСТОН»

Маҷаллаи илмӣ-назариявӣ “Криосфера” соли 2021 таъсис ёфта, дар давоми як сол чаҳор шумора нашр мешавад. Маҷалла таҳти №194/МҚ аз 15 марти соли 2021 дар Вазорати фарҳанги Ҷумҳурии Тоҷикистон ба қайд гирифта шудааст.

Сармуҳаррир: Абдулҳамид ҚАҶОМОВ – академики Академияи байналмилалӣ оид ба бехатарии ҳаёт, академики Академияи муҳандисии Ҷумҳурии Тоҷикистон, профессор

Муовини сармуҳаррир: Алишо ШОМАҲМАДОВ – номзоди илмҳои физикаю математика

Ҳайати таҳририя:

Абдуфаттоҳ РАҲИМОВ – доктори илмҳои география, профессор;
Холназар МУҲАББАТОВ – доктори илмҳои география, профессор;
Уктам МУРТАЗОЕВ – доктори илмҳои география, профессор;
Садириддин АБДУРАҲИМОВ – доктори илмҳои геологияю минерология;
Сабур АБДУЛЛОЕВ – доктори илмҳои физикаю математика;
Аҳрорҷон ҚАЛАНДАРОВ – номзоди илмҳои география;
Амриддин САМИЕВ – номзоди илмҳои география;
Муборакшо ТАБАРУКОВ – номзоди илмҳои география.

Ҳайати таҳририяи байналмилалӣ:

Мартин ҲОУЛЗЛ – профессор (Швейтсария);
Майкл ЗЕМП – профессор (Швейтсария);
Франческа ПЕЛЛИКСИОТТИ – профессор (Швейтсария);
Владимир КОНОВАЛОВ – профессор (Москва);
Шичанг КАНГ – профессор (Хитой);
Кристинэ ТОВМАСЯН – доктор Phd (Қазоқистон);
Эван МАЙЛЗ – доктор Phd (ИМА);
Александр ЕГОРОВ – доктор Phd (Қазоқистон);
Дмитрий ПЕТРАКОВ – доктор Phd (Москва);
Томас САКС – доктор Phd (Швейтсария).

МУНДАРИЧА

1. А. Волери, М. Барандун, К. Наегели. Аҳаммияти тағйирёбии зермавсимӣ, фазой-вақтии албедаи яхҳои кушодаи пирияхи Абрамов, Қирғизистон	8-11
2. Д. Ким, Т. Улманн, М. Барандун. Динамикаи зермавсимии хатти барфи пирияхҳо дар Осиёи Марказӣ тибқи маълумоти мушоҳидаҳои моҳвораии мултиспектрӣ, солҳои 2000 - 2023.....	12-15
3. В. П. Капитса, Н. Е. Касаткин, З. С. Усманова, Д. Кисербаев, Т. Сакс, Э. Маттэа. Муқоисаи тавозуни ҳаҷми моделӣ ва глятсиологии пирияхи Туйқуси Марказӣ, домани шимолии Иле-Алатау.....	16-23
4. Н. В. Пиманкина, О. В. Благовешенская, И.А. Диких. Падидаҳои хавфнок ба барфу ях дар Қазокистон.....	24-37
5. А. И. Рахимов, С. Я. Абдурахимов. Хусусиятҳои гидрогеоэкологии ноҳияҳои аз об норасои Тоҷикистон.....	38-50
6. Т. Матис, М. Азимшоев, Е. Спети, Ҳ.Д. Наврузшоев, К. Хилбич, К. Хак, Т. Сакс, Ҷ. Фиддес, А. Шаршебаев, С. Белеков, Э. Азисов, Р. Кенжебаев, М. Борисов, Р. Усубалиев, Т. Мусаев, Ж. Бектурсунов, А. Қ. Каюмов, М. Хёлзле. Таҳлили маҷмуии яхбандии доимӣ дар Тоҷикистон бо истифодаи InSAR.....	51-60
7. А. Шарифов, У. М. Мирсаидов. Рушди энергетикаи гидрогенӣ роҳи самараноки устувории пирияхҳо	61-74
8. М. Барандун, С. Атанов, Ҳ. Наврузшоев, Х. Кабутов, А. Ҳалимов, Ф. Восидов, Т. Матис, Э. Маттеа, Ҷ. Фиддес, А. Смирнов, И. Лаврентев, Э. Пол, Т. Сакс, А. Қ. Каюмов, М. Хелтсле. Вазъияти ҳозираи криосфера ва таъсири он ба дастрасии об барои Тоҷикистон.....	75-84
9. М. Ю. Беккиев, М. Д. Докукин, Р. Х. Калов, С. И. Шагин, А. Р. Акаев. Пояҳои моренавӣ ҳамчун ҷойҳои имконпазири ташаккули ҷараёнҳои селҳои ҳаҷмашон калон.....	85-93
10. Ф. Х. Каримов, М. З. Давлятова. Таназзули моренаи пирияхи РГО дар Тоҷикистон.....	94-105
11. А. М. Керимов, О. А. Курашева. Муқоисаи таркиби металлҳои вазнин дар пирияхҳо ва обҳои дарёҳои Кавкази Марказӣ	106-112



ISSN 2789-8326

КРИОСФЕРА

Учредитель журнала:

ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ «ЦЕНТР ИЗУЧЕНИЯ ЛЕДНИКОВ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК ТАДЖИКИСТАНА»

Научно-теоретический журнал «Криосфера» основан в 2021 году и выходит четыре номера в год. Журнал зарегистрирован под №194 / МЧ с 15 марта 2021 года в Министерстве культуры Республики Таджикистан.

Главный редактор: Абдулхамид КАЮМОВ - академик Международной академии наук безопасности жизнедеятельности, академик Инженерной академии Республики Таджикистан, профессор

Заместитель главного редактора: Алишо ШОМАХМАДОВ – кандидат физико-математических наук.

Редакционная коллегия:

Абдуфаттох РАХИМОВ - доктор географических наук, профессор;
Холназар МУХАББАТОВ - доктор географических наук, профессор;
Уктам МУРТАЗОЕВ - доктор географических наук, профессор;
Садириддин АБДУРАХИМОВ - доктор геолого-минерологических наук;
Сабур АБДУЛЛОЕВ - доктор физико-математических наук;
Ахрорджон КАЛАНДАРОВ - кандидат географических наук;
Амриддин САМИЕВ - кандидат географических наук;
Муборакшо ТАБАРУКОВ - кандидат экономических наук.

Международный редакционный совет:

Мартин ХЕЛЬЦЛЕ - профессор (Швейцария);
Майкл ЗЕМП - профессор (Швейцария);
Франческа ПЕЛЛИКСИОТТИ - профессор (Швейцария);
Владимир КОНОВАЛОВ - профессор (Москва);
Шичанг КАНГ – профессор (Китай);
Кристинэ ТОВМАСЯН - доктор Phd (Казахстан);
Эван МАЙЛЗ - доктор Phd (США);
Александр ЕГОРОВ - доктор Phd (Казахстан);
Дмитрий ПЕТРАКОВ - доктор Phd (Москва);
Томас САКС - доктор Phd (Швейцария).

© Государственное научное учреждение «Центр изучения ледников Национальной академии наук Таджикистана», 2023

СОДЕРЖАНИЕ

1. А. Волери, М. Барандун, К. Наегели. Значение субсезонной, пространственно-временной изменчивости альбеда открытого льда ледника Абрамова, Киргизстан.....	8-11
2. Д. Ким, Т. Ульманн, М. Барандун. Субсезонная динамика снеговой линии ледников в Центральной Азии по данным мультисенсорных спутниковых наблюдений, 2000 – 2023 гг.....	12-15
3. В. П. Капица, Н. Е. Касаткин, З. С. Усманова, Д. Кисербаев, Т. Сакс, Э. Маттэа. Сравнение смоделированного и гляциологического баланса массы ледника Центральный Туйыксу, северный склон Иле-Алатау.....	16-23
4. Н. В. Пиманкина, О. В. Благовещенская, И. А. Диких. Опасные явления, связанные со снегом и льдом, в Казахстане.....	24-37
5. А. И. Рахимов, С. Я. Абдурахимов. Гидрогеоэкологические особенности вододефицитных районов Таджикистана.....	38-50
6. Т. Матис, М. Азимшоев, Е. Спети, Х. Д. Наврузшоев, К. Хилбич, К. Хак, Т. Сакс, Дж. Фиддес, А. Шаршебаев, С. Белеков, Э. Азисов, Р. Кенжебаев, М. Борисов, Р. Усубалиев, Т. Мусаев, Ж. Бектурсунов, А. К. Каюмов, М. Хёлзле. Комплексный анализ вечной мерзлоты в Таджикистане с использованием InSAR.....	51- 60
7. А. Шарифов, У. М. Мирсаидов. Развитие водородной энергетики эффективный способ сохранения ледников.....	61-74
8. М. Барандун, С. Атанов, Х. Наврузшоев, Х. Кабутов, А. Халимов, Ф. Восидов, Т. Матис, Э. Маттеа, Дж. Фиддес, А. Смирнов, И. Лаврентьев, Э. Поль, Т. Сакс, А. К. Каюмов, М. Хельцле. Современное состояние криосферы и ее влияние на доступность воды для Таджикистана.....	75-84
9. М. Ю. Беккиев, М. Д. Докукин, Р. Х. Калов, С. И. Шагин, А. Р. Акаев. Моренные пьедесталы – потенциальные очаги формирования селей гигантских объёмов.....	85- 93
10. Ф. Х. Каримов, М. З. Давлятова. Деградация морены ледника РГО в Таджикистане.....	94-105
11. А. М. Керимов, О. А. Курашева. Сравнение содержания тяжелых металлов в ледниках и речных водах центрального Кавказа.....	106-112



ISSN 2789-8326

CRYOSPHERE

Founder of the journal:

THE STATE SCIENTIFIC INSTITUTION «Center for Research of Glaciers of the National Academy of Sciences of Tajikistan»

The scientific and theoretical journal "Cryosphere" was founded in 2021 and is published four issues a year. The journal is registered under No. 194 / MJ since March 15, 2021 at the Ministry of Culture of the Republic of Tajikistan.

Editor-in-Chief: Abdulhamid KAYUMOV - Academician of the International Academy of Life Safety Sciences, Academician of the Engineering Academy of the Republic of Tajikistan, Professor

Deputy Editor-in-Chief: Alisho SHOMAHMADOV - Candidate of Physical and Mathematical Sciences;

Editorial team:

Kholnazar MUKHABBATOV - Doctor of Geographical Sciences, Professor;
Uktam MURTAZOEV - Doctor of Geographical Sciences, Professor;
Sadiriddin ABDURAHIMOV - Doctor of geological and mineralogical sciences;
Sabur ABDULLOEV - Doctor of Physical and Mathematical Sciences;
Ahrorjon KALANDAROV - Candidate of geographical sciences;
Amriddin SAMIEV - Candidate of geographical sciences;
Muboraksho TABARUKOV - Candidate of geographical sciences.

International Editorial Board:

Martin HOELZLE - Professor (Switzerland);
Michael ZEMP - Professor (Switzerland);
Francesca PELLICCIOTTI - Professor (Switzerland);
Vladimir KONOVALOV - Doctor of Geographical Sciences (Moscow);
Shichang KANG – Professor (China);
Kristine TOVMASYAN - Dr Phd (Kazakhstan);
Yegorov Alexandr - Dr Phd (Kazakhstan);
Evan MILES - Dr Phd (USA);
Dmitry PETRAKOV - Dr Phd (Moscow);
Tomas SAKS - Dr Phd, (Switzerland).

© The state scientific institution «Center for Research of Glaciers of the National Academy of Sciences of Tajikistan», 2023

CONTENT

1. A. Volery, M. Barandun, K. Naegeli. Importance of the sub-seasonal, spatio-temporal variability of bare-ice albedo of Abramov glacier, Kyrgyzstan.....	8-11
2. D. Kim, T. Ullmann, M. Barandun. Sub-seasonal snowline dynamics of glaciers in Central Asia from multi-sensor satellite observations, 2000-2023.....	12-15
3. V. P. Kapitsa, N. E. Kasatkin, Z. S. Usmanova, D. Kisebaev, T. Saks, E. Mattea. Comparison of Modeled and Glaciological Mass Balance of the Central Tuyiksu Glacier, Northern Slope of Ile-Alatau.....	16-23
4. N.V. Pimankina, O.V. Blagoveshchenskaya, I.A. Dikich. Hazardous phenomena related to snow and ice in Kazakhstan.....	24-37
5. A.I. Rakhimov, S. YA. Abdurakhimov. Hydrogeoecological features water deficit areas of Tajikistan.....	38-50
6. T. Mathys, M. Azimshoev, E. Spati, H. Navruzshoev, CH. Hilbich, CH. Hauck, T. Saks, J. Fiddes, J. Usubaliev, A. Kayumov, M. Hoelzle. Comprehensive analysis of permafrost in Tajikistan: evaluating ground ice volumes through geophysical field surveys and identifying potentially hazardous slope movements using InSAR.....	51- 60
7. A. SHarifov, U. M. Mirsaidov. Development of hydrogen energy - an effective way to preserve glaciers.....	61-74
8. M. Barandun, S. Atanov, H. Navruzshoev, KH. Kabutov, A. Halimov, F. Vosidov, T. Mathys, E. Mattea, J. Fiddes, A. Smirnov, I. Lavrentiev, E. Pohl, T. Saks, A. Kayumov, M. Hoelzle. The current state of the cryosphere and its impacts on water availability for Tajikistan.....	75-84
9. M. YU. Bekkiev, M. D. Dokukin, R. KH. Kalov, S. I. SHagin, A. R. Akaev. Moraine pedestals are potential sites for the formation of debris flows of gigantic volumes.....	85- 93
10. F. H. Karimov, M. Z. Davlyatova. Degradation of the moraine of the RGO glacier in Tajikistan.....	94-105
11. A. M. Kerimov, O. A. Kurasheva. Comparison of heavy metal content in glaciers and river waters of the Central Caucasus.....	106-112

A.VOLERY¹, M. BARANDUN¹, K. NAEGELI²

IMPORTANCE OF THE SUB-SEASONAL, SPATIO-TEMPORAL VARIABILITY
OF BARE-ICE ALBEDO OF ABRAMOV GLACIER, KYRGYZSTAN

¹ *Department of Geosciences, University of Fribourg, Chemin du Musée 4, CH-1700*

Fribourg (anouk.volery@unifr.ch)

² *Remote Sensing Laboratories, Department of Geography, University of Zurich*

***Annotation.** The variable of bare-ice albedo is investigated using Landsat Collection 2 Surface Reflectance Products for the ablation seasons 1999 to 2022. The sub-seasonal and inter-annual variations of bare-ice albedo are explored at the scale of the tongue, at the scale of the pixel and at the scale of elevation bands.*

Kew words: sub-seasonal, bare-ice albedo, Abramov glacier, spatio-temporal variability, Central Asia.

Introduction

The retreat of glaciers in Central Asia jeopardizes the reliability of local populations on water supplies provided by glacial melt during warm and dry seasons (Armstrong et al., 2019). The development of adequate measures to adapt to such impacts first requires an extensive understanding of the variables governing glaciers' mass balance. One of those variables is bare-ice albedo which controls the absorption of solar radiation at the surface of the glacier's ablation area – where most of net mass loss occurs (Benn and Evans, 2010). Bare-ice albedo has been understudied so far despite its influence on melting rates (Naegeli et al. 2015). This gap in research is problematic for Central Asia, considering that glaciers' ablation areas are exposed to radiation for extended

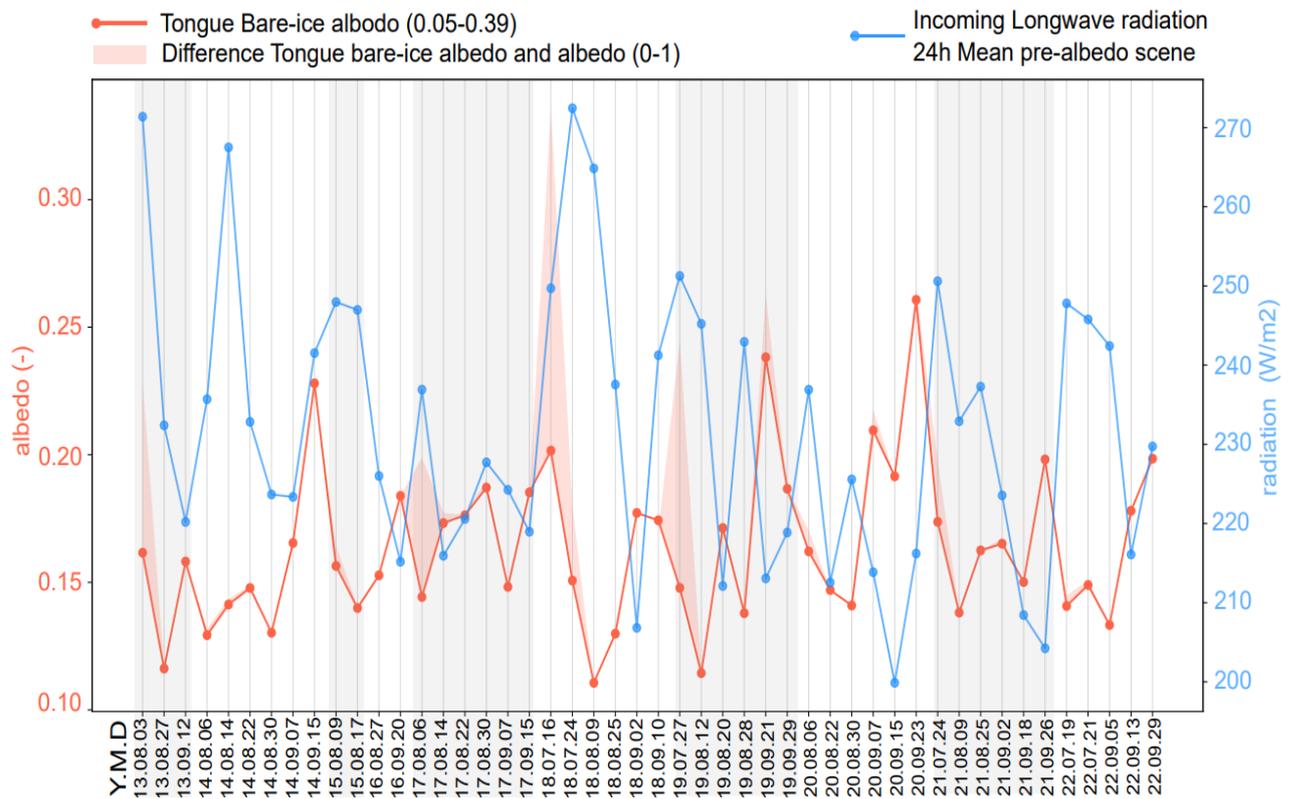
periods (Zhou et al. 2017). Moreover, glaciers around the world, including in Central Asia, are becoming darker (Zhang et al. 2021). Considering such circumstances, this contribution presents the sub-seasonal and interannual spatio-temporal variability of bare-ice albedo of Abramov glacier, Kyrgyzstan for the month of July, August, and September from 1999 - 2022.

Methods and Data

The variable of bare-ice albedo is investigated using Landsat Collection 2 Surface Reflectance Products for the ablation seasons 1999 to 2022. The sub-seasonal and inter-annual variations of bare-ice albedo are explored at the scale of the tongue, at the scale of the pixel and at the scale of elevation bands. Moreover, the relationship between bare-ice albedo, incoming longwave radiation, and mass balance data is explored over multiple timescales using a bivariate exploratory analysis.

Preliminary Results

The results will provide insights into 1) the sub-seasonal spatio-temporal variations of bare-ice albedo, 2) the evolution of bare-ice albedo under changing climatic conditions, 3) the influence of incoming longwave radiations on variations of bare-ice albedo, 4) the relationship between bare-ice albedo and glacier mass balance. Preliminary results already disclose a clear



relationship between incoming longwave radiation and the variations of Abramov's bare-ice albedo from 2013 to 2022 (Figure 1).

REFERENCES

1. Armstrong, R.L. et al. (2019). Runoff from glacier ice and seasonal snow in High Asia: separating melt water sources in river flow, *Regional Environmental Change*, 19(9), 1249-1261.
2. Benn, D. and Evans, D. (2010). *Glaciers and Glaciation*, 2nd edition. London, Routledge.
3. Naegeli, K., Damm, A., Huss, M., Schaepman, M. and Hoelzle, M. (2015). Imaging spectroscopy to assess the composition of ice surface materials and their impact on glacier mass balance. *Remote Sensing of Environment*, 168, 388-402.

4. Zhang, Y et al. (2021). Albedo reduction as an important driver for glacier melting in Tibetan Plateau and its surrounding areas, *Earth-Science Reviews*, 220, 103735. Zhou, H. et al. (2017). Seasonal snow cover regime and historical change in Central Asia from 1986 to 2008, *Global and Planetary Change*, 148: 192-2016.

А. ВОЛЕРИ, М. БАРАНДУН, К. НАЕГЕЛИ

АҲАММИЯТИ ТАҒЙИРЁБИИ ЗЕРМАВСИМӢ, ФАЗОӢ-ВАҚТИИ АЛБЕДОИ ЯХҲОИ КУШОДАИ ПИРЯХИ АБРАМОВ, ҚИРҒИЗИСТОН

Аннотатсия. Тағйирёбии албедои яхбандии кушода бо истифода аз *Landsat Collection 2 Surface Reflectance Products* барои мавсимҳои обшавӣ аз 1999 то 2022 таҳқиқ карда шудааст. Вариантҳои субмавсимӣ ва байнисолаи албедои кушода дар миқёси забона ва дар миқёси қисматҳои баландӣ омӯхта мешаванд.

Калимаҳои калидӣ: субмавсимӣ, албедои кушодаи яхбандӣ, пирияхи Абрамов, тағйирёбии фазоӣ-вақтӣ, Осиёи Марказӣ.

А. ВОЛЕРИ, М. БАРАНДУН, К. НАЕГЕЛИ

ЗНАЧЕНИЕ СУБСЕЗОННОЙ, ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ АЛБЕДО ОТКРЫТОГО ЛЬДА ЛЕДНИКА АБРАМОВА, КИРГИЗСТАН

Аннотация. С помощью данных *Landsat Collection 2 Surface Reflectance Products* для сезонов абляции с 1999 по 2022 гг. исследована изменчивость альbedo открытого льда. Субсезонные и межгодовые вариации альbedo открытого льда исследуются в масштабе языка, в масштабе пикселя и в масштабе высотных полос.

Ключевые слова: субсезонный, альbedo открытого льда, ледник Абрамова, пространственно-временная изменчивость, Центральная Азия.

D. KIM¹, T. ULLMANN², M. BARANDUN¹

SUB-SEASONAL SNOWLINE DYNAMICS OF GLACIERS IN CENTRAL ASIA
FROM MULTI-SENSOR SATELLITE OBSERVATIONS, 2000-2023

¹Department of Geosciences, University of Fribourg, Chemin du Musée 4, CH-1700 Fribourg (dilara.kim@unifr.ch)

²Institute of Geography and Geology, Department of Remote Sensing, University of Würzburg, John Skilton Str. 4a, 97074 Würzburg, Germany

Introduction

The ongoing climate change is happening at the unprecedented rates and scale (IPCC, 2023). Glaciers are sensitive to these changes, and most of them are experiencing an accelerated mass loss (Zemp et al., 2015; Hugonnet et al., 2021). Glaciers are an important contributor to the freshwater supply in the Central Asian region. The collapse of the Soviet Union has interrupted the vast majority of the conducted glacier mass balance observations, which began to re-establish in 2010. The existing data gap, limited spatial resolution of glaciological measurements, and the high heterogeneity of the region limits the use of in-situ data. Mass balance models rely on observation-based calibration and validation data, such as transient snowlines (TSLs), a transition between snow and ice-covered surfaces on a glacier at a given point in time. At the end of the ablation season TSL approximates the equilibrium line. From TSL we can calculate the snow-covered area fraction (SCAF), the area on the glacier surface that is snow covered in relation to the total glacier area.

Data and Method

The TSL and SCAF can be mapped from satellite imagery due to the distinctive spectral and structural signature of snow over time. Our approach presented in this contribution is based on the MODIS time-series, harnessing the advantage of long and close-to-daily observations records for the period before high-resolution satellites became available. To resolve the issue of MODIS coarse spatial resolution, we retrieved SCAF from multispectral Sentinel-2 and cloud-independent Sentinel-1 SAR imagery using established workflow. The automatic classification and calculation of SCAF is performed using the cloud computing service of the Google Earth Engine, which makes the entire approach easily applicable on a large number of remote glaciers worldwide. We validated the results independently with Landsat data over selected glaciers in Central Asia. From the SCAF time-series we analysed changes in various parameters indicative for the atmospheric conditions and its changes (amongst others the length of ablation period, the minimum SCAF, and the seasonal SCAF changes) as well as their 20-year trends.

Results

Here we present the result for the snowline dynamics over Zulmart glacier, which is located in the west part of the Karakul lake in Tajikistan (Figure 1).

Figure 1. SCAF time-series of Zulmart glacier 2000-2023.

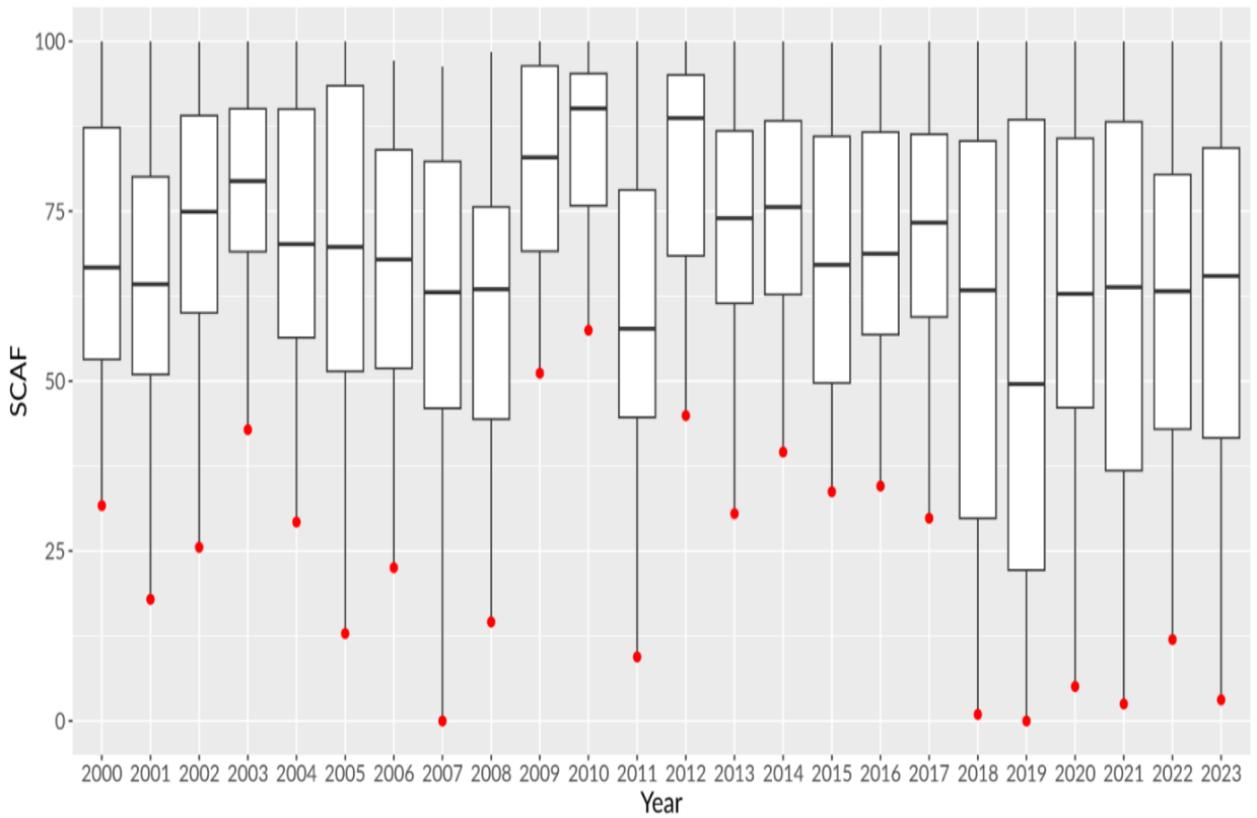


Figure 2. Annual SCAF variability of Zulumart glacier.

In the past 6 years, Zulumart minSCAF has stayed considerably lower than the average (Figure 2)

Conclusion

Our results provide a unique time series of temporally and spatially high-resolved SCAF estimates giving observation-based information on the heterogeneity of the region's climatic setting as well as its changes on subseasonal scale.

Literature:

1. Hugonnet, R., McNabb, R., Berthier, E., Menounos, B., Nuth, C., Girod, L., Farinotti, D.,
2. Huss, M., Dussaillant, I., Brun, F., & Kääb, A. (2021). Accelerated global glacier mass loss in the early twenty-first century. *Nature*, 592(7856), 726–731. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03436-z>
3. IPCC. (2023). *Climate Change 2021 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. <https://www.cambridge.org/core/books/climate-change-2021-the-physical-science-basis/415F29233B8BD19FB55F65E3DC67272B>
4. Zemp, M., Frey, H., Gärtner-Roer, I., Nussbaumer, S. U., Hoelzle, M., Paul, F., Haeberli,
5. W., Denzinger, F., Ahlstrøm, A. P., Anderson, B., Bajracharya, S., Baroni, C., Braun, L. N., Cáceres, B. E., Casassa, G., Cobos, G., Dávila, L. R., Delgado Granados, H., Demuth, M. N., . . . Vincent, C. (2015). Historically unprecedented global glacier decline in the early 21st century. *Journal of Glaciology*, 61(228), 745–762. <https://doi.org/10.3189/2015JoG15J017>

КРИОСФЕРА
ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ «ЦЕНТР
ИЗУЧЕНИЯ ЛЕДНИКОВ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК
ТАДЖИКИСТАНА» № 3 (11), 2023 г.

ГЛЯЦИОЛОГИЯ

УДК 551.324.63

В. П. КАПИЦА¹ vasil.geo@mail.ru, КАСАТКИН Н. Е¹ kasatkinne@mail.ru, З.С.
УСМАНОВА¹ zamira_usmanova@mail.ru, Д. КИСЕБАЕВ¹ daulet-ctl@mail.ru,
С.ТОМАС² tomas.saks@unifr.ch, Э. МАТТЕА² enrico.mattea@unifr.ch

СРАВНЕНИЕ СМОДЕЛИРОВАННОГО И ГЛЯЦИОЛОГИЧЕСКОГО
БАЛАНСА МАССЫ ЛЕДНИКА ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ТУЙЫКСУ, СЕВЕРНЫЙ
СКЛОН ИЛЕ-АЛАТАУ

¹ТОО «Центрально-Азиатский Региональный Гляциологический Центр
категории 2 под эгидой ЮНЕСКО». info@cargc.org

² University of Fribourg, Department of Geosciences, Switzerland. formcont@unifr.ch

***Аннотация.** Используя модель DMBSim были получены результаты математического моделирования баланса массы за 2006-2023 балансовые годы ледника Центральный Туйыксу, расположенного на северном склоне Иле Алатау, Северный Тянь-Шань. В качестве входных данных использовались данные наблюдений за температурой воздуха и осадками с метеостанции Туйыксу и суммарных осадкомеров, снегомерных съёмок с закладкой шурфов, аккумуляции и абляции по рейкам. Затем было проведено сравнение измеренных за тот же период величин зимнего и годового баланса массы. Максимальное несоответствие смоделированного зимнего баланса массы с измеренным, по фактическим датам, отмечено в 2006/07 гг. и составило 0,37 м в.е. (68%); среднее 0,17 м в.е. (29%). Максимальная разница годового баланса массы, так же по фактическим датам, составила 0,34 м в.е. (40%) при средней 0,05 м в.е. (9%). Полученные данные могут быть использованы при прогностических расчётах внешнего баланса массы, а также ледникового стока.*

Вследствие продолжающейся интенсивной деградациии оледенения только увеличивается актуальность точной оценки объёма водных ресурсов, особенно в аридных континентальных регионах, таких как Центральная Азия, где в засушливые периоды, когда такие источники воды как талый снег исчерпаны и отсутствуют осадки, талые ледниковые воды составляют значительную часть стока. Компоненты криосферы

горных систем хранят большие объемы воды в твердой фазе и играют ключевую роль в нынешнем и будущем наличии водных ресурсов в условиях меняющегося климата [Hoelzle et al. 2020]. Большинство исследований посвящено оценке изменения площади ледников, например Sakai A., 2019, N. Molg, et al., 2018, Severskiy et al., 2016, Cogley, J. G. 2016, D. Petrakov, et al., 2016, Farinotti et al. (2015). Однако, данные об изменении площади ледников в ЦА все еще неполны и неоднородны [M. Barandun et al. 2020, N. Molg, et al., 2018]. Моделей баланса массы ледников на сегодняшний день написано не мало, от простых, использующих аккумулятивные аномалии температуры воздуха (положительные градусо-дни), до моделей, использующих полный энергетический баланс [C. Tennant, et al., 2012]. Применяются они для реконструкции пробелов в полевых измерениях баланса массы ледников, а также исторической и будущей эволюции массы ледников. Применение методов дистанционного зондирования позволило увеличить количество исследуемых ледников и расширить данные о балансе массы в регионах, где полевых данных о балансе массы мало. Однако, прямые измерения баланса массы ледников являются наиболее надежным индикатором изменения климата и могут использоваться для проверки результатов моделей баланса массы [C. Tennant, et al., 2012].

Цель данной работы – апробировать модель баланса массы DMBSim model и оценить согласованность результатов, полученных разными методами балансовых составляющих ледника Центральный Туйыксу за период 2006-2023 гг. Выбор периода обусловлен обновлением речного поля в 2006 г с увеличением количества рек до 120 шт. и частоты измерений плотности снега на разных высотах, что позволило минимизировать погрешность измерений балансовых составляющих ледника Центральный Туйыксу [Kapitsa et al 2020]. Ледник Центральный Туйыксу расположен в бассейне реки Киши Алматы, 43° 02' 44" с.ш. 77° 04

' 46" в.д. является одним из наиболее изученных ледников Казахстана и ЦА и занимает одно из первых мест среди ледников мира, по которым ведутся долговременные исследования баланса массы. Он долинного типа с ярко выраженными областями аккумуляции и абляции; экспозиция – северная, максимальная высота 4219 м н.у.м. Область питания ледника занимает однокамерный цирк, крутизна склонов которого достигает 35–40°, что создаёт определённые трудности и опасность для прямых наблюдений. Тем не менее, в течение 18–20 лет в семидесятых и восьмидесятых годах XX века на склонах и пригребневых участках цирка велись детальные измерения, которые позволили установить связь составляющих баланса массы в высотной зоне 3700 – 3800 м н.у.м. с балансом массы верхних участков ледника. Язык ледника с редкими трещинами и уклоном 8–10° относительно доступен. По состоянию на 2023 г здесь установлены 87 реек для снегомерных работ, наблюдений за абляцией льда и снега, скоростью движения льда и оценки современного сокращения ледника. Полученные результаты наблюдений – годовые значения аккумуляции, абляции и баланса массы передаются во Всемирную службу мониторинга ледников (WGMS) [Кокарев А.Л. и др. 2022, Макаревич и Касаткин 2011].

Модель баланса массы DMBSim model генерирует два варианта величины зимнего баланса: первый – по фиксированным датам с 1 октября по 30 апреля следующего года, и второй – по фактическим датам начала и окончания холодного периода. Колебания значений зимнего баланса массы обусловлены количеством осадков за холодный период и ветровым переносом свежеснежавшего снега с обрамляющих ледник склонов и боковых морен на поверхность ледника. Сумма осадков за фактический и фиксированный холодные периоды значительно отличаются. Это хорошо прослеживается на примере 2015/16 балансового года, когда в мае 2016 г. выпало аномально большое

количество осадков, которые не были учтены моделью при расчёте по первому варианту. Временной ход величин зимнего баланса, смоделированного по второму варианту, лучше согласуется и коррелирует с измеренными, коэффициент корреляции составил 0,93, а среднее значение 0,745 мм. Однако, по фиксированным датам среднее значение баланса за рассматриваемый период (0,602 мм) ближе к измеренному (0,573 мм). Разница между величинами зимнего баланса массы, сгенерированного по фактическим датам, и измеренным объясняется тем, что в модели заложено увеличение количества осадков с высотой каждые 100 м и лишь на пригребневых участках ледника отложения снега снижается. Однако, прямые наблюдения на леднике Туйыксу показали, что наибольшие снеготзапасы сосредоточены в высотной зоне 3800-3900 м н.у.м. у подножия цирка, кроме того, помимо твёрдых атмосферных осадков, здесь аккумулируются большие массы переотложенного снега, количество которого уменьшается вверх по склону и сокращается почти в два раза на пригребневых участках [Макаревич Г. и др.1984 г, 97 с]. Для уменьшения этой разницы необходимы проведение дополнительных прямых наблюдений в зоне аккумуляции ледника, и как следствие корректировка входных параметров на этапе калибровки и валидации модели с внесением такого дополнительного входного параметра, как градиент осадков по высотным интервалам. Следует отметить, что внесение таких изменений в параметры модели ориентировано индивидуально для ледника Туйыксу.

За весь период наблюдений 1958-2023 гг. баланс массы ледника Центральный Туйыксу составил -28,0 м или -0,418 м в.е. Положительный баланс за рассматриваемый 2006-2023 период наблюдался в 2008/09, 2009/10 и 2015/16 балансовые годы; самым негативным был 2007/08 балансовый год. Средний годовой баланс массы ледника составил -0,542

м в.е. Смоделированные величины годового баланса массы, как по фиксированным (-0,647 м в.е.), так и по фактическим датам начала и окончания балансового года (-0,591 м в.е.), ближе к измеренным значениям в сравнении с зимним балансом. Не смотря на высокий коэффициент корреляции между смоделированными и измеренными величинами баланса массы отмечаются значительные различия в отдельные годы. Отсутствие прямых наблюдений в зоне аккумуляции, вполне вероятно является одним из источников этого несоответствия при экстраполяции данных. Максимальные различия наблюдаются с высоты около 3770 м н.у.м. где заканчиваются абляционные рейки и баланс массы рассчитывается по соотношениям. Эта разница, по нашему мнению, возникает в следствии различных подходов (метод соотношений и расчётный метод модели) в оценке влияния локальных метеорологических и геоморфологических условий на абляцию и аккумуляцию снега и льда, достигая больших значений в аномальные годы. Однако из-за отсутствия альтернативы необходима настройка параметров модели для более точного воспроизведения наблюдаемых данных.

При заданном наборе параметров модель показывает более негативные величины годового баланса массы ледника. Следует учитывать также достаточно значительную межгодовую изменчивость количества осадков, приземной температуры, а следовательно, и темпов таяния. Это все требует более точной калибровки модели, для которой необходим более длительный ряд современных наблюдений в качестве исходных данных, что в свою очередь требует дополнительных исследований.

Баланс массы Центральный Туюксу за период наблюдений 1958-2023 гг. в основном отрицательный, за исключением нескольких

индивидуальных лет, что подтверждает продолжающуюся потерю массы и объёма.

Несмотря на различия измеренных и модельных значений баланса массы, эти величины сопоставимы и расчетные величины также демонстрируют негативный тренд развития ледника Центральный Туюксу. Очевидные значительные различия наблюдаются преимущественно для аномальных сезонов, например, 2009/10, 2015/16, гг.

В дальнейшем планируется продолжить калибровку и валидацию модели, для целей ее использования в прогностических расчетах для оценки изменения компонентов баланса массы ледников региона в будущем в условиях меняющегося климата.

Литература:

1. Cogley, J. G. Glacier shrinkage across High Mountain Asia. *Annals of Glaciology* 2016
2. Christina Tennant, Brian Menounos, Bruce Ainslie, Joseph Shea, Peter Jackson, Comparison of modeled and geodetically-derived glacier mass balance for Tiedemann and Klinaklini glaciers, southern Coast Mountains, British Columbia, Canada, *Global and Planetary Change*, Volumes 82–83, 2012, Pages 74-85
3. D. Petrakov, et al., Accelerated glacier shrinkage in the Ak-Shyirak massif, Inner Tien Shan, during 2003–2013, *Sci. Total Environ.* 562 (2016) 364–378
4. Farinotti, D., Longuevergne, L., Moholdt, G. et al. Substantial glacier mass loss in the Tien Shan over the past 50 years. *Nature Geosci* 8, 716–722 (2015)
5. Hoelzle, M., Barandun, M., Bolch, T., Fiddes, J., Gafurov, A., Müssione, V., Saks, T., & Shahgedanova, M. (2020). The status and role of the alpine cryosphere in Central Asia. In *Book: The Aral Sea Basin: Water for Sustainable Development in Central Asia*. Eds. Xenarios, S., Schmidt-Vogt, D., Qadir, M., Janusz-Pawletta, B., & Abdullaev, I., Chapter 8, 100–121.
6. Kapitsa V, Shahgedanova M, Severskiy I, Kasatkin N, White K and Usmanova Z (2020) Assessment of Changes in Mass Balance of the

- Tuyuksu Group of Glaciers, Northern Tien Shan, between 1958 and 2016 Using Ground-Based Observations and Pléiades Satellite Imagery. *Front. Earth Sci.* 8:259.
7. Martina Barandun, Joel Fiddes, Martin Scherler, Tamara Mathys, Tomas Saks, Dmitry Petrakov, Martin Hoelzle, The state and future of the cryosphere in Central Asia, *Water Security*, Volume 11, 2020, 100072, ISSN 2468-3124.
 8. M. Hoelzle, et al., Re-establishing glacier monitoring in Kyrgyzstan and Uzbekistan, Central Asia, *Geoscientific Instrumentation Method and Data Systems* 6 (2017) 397–418
 9. N. Molg, et al., A consistent glacier inventory for Karakoram and Pamir derived from Landsat data: distribution of debris cover and mapping challenges, *Earth Syst. Sci. Data* 10 (2018) 1807–1827
 10. Sakai, A.: Brief communication: Updated GAMDAM glacier inventory over high-mountain Asia, *The Cryosphere*, 13, 2043–2049, <https://doi.org/10.5194/tc-13-2043-2019>, 2019.
 11. Severskiy, I., Vilesov, E., Armstrong, R., Kokarev, A., Kogutenko, L., and Usmanova, Z. (2016). Changes in Glaciation of the Balkhash - Alakol basin over the past decades. *Ann. Glaciol.* 57, 382–394.
 12. Кокарев А. Л., Капица В. П., Больш Т., Северский И. В., Касаткин Н. Е., Шахгеданова М., Усманова З. С. Результаты геодезических измерений баланса массы некоторых ледников Заилийского Алатау. *Лёд и Снег.* 2022; 62(4):527-538.
 13. Макаревич К. Г., Вилесов Е. Н., Головкова Р. Г., Денисова Т. Я., Шабанов П. Ф. Ледники Туюксу (Северный Тянь-Шань), Гиброметеиздат, Ленинград, 1984
 14. Макаревич К. Г., Касаткин Н. Е., 2011, Полувековые исследования баланса массы и морфометрические изменения Центрального Туюксуйского ледника в Заилийском Алатау, Ледники и ледниковые покровы, Институт географии Министерства образования и науки Республики Казахстан, с.300

В. П. КАПИТСА, Н. Е. КАСАТКИН, З. С. УСМАНОВА, Д. КИСЕРБАЕВ, Т.
САКС, Э. МАТТЭА

**МУҚОИСАИ ТАВОЗУНИ ҲАҶМИ МОДЕЛӢ ВА ГЛЯТСИОЛОГИИ
ПИРЯХИ ТУЙУКСУИ МАРКАЗӢ, ДОМАНИ ШИМОЛИИ ИЛЕ-АЛАТАУ**

Фишурда. Бо истифода аз модели DMBSim натиҷаҳои модели математикии тавозуни массаи пиряхи Туйиксуи Марказӣ, ки дар домани шимолии Иле Алатау, Тянь-Шани шимолӣ ҷойгир аст, барои солҳои 2006-2023 ба даст оварда шуданд. Ҳамчун маълумоти воридотӣ маълумоти мушоҳидаҳои ҳарорати ҳаво ва боришот аз пойгоҳи обуҳавосанҷии Туйиксу ва асбоби боришотсанҷӣ, омӯзиши қабати барф бо воситаи шурфҳо, корҳои аккумулятсионӣ ва аблятсионӣ бо рейкаҳо истифода шудаанд. Сипас, муқоисаи миқдори тавозуни ҳаҷми зимистона ва солона, ки дар ҳамаи давраи чен карда шудааст, гузаронида шуд. Номувофиқати максималии тавозуни ҳаҷми зимистонаи моделишуда бо санаҳои ченшуда, аз рӯйи санаҳои воқеӣ, дар солҳои 2006/07 қайд карда шудааст ва 0,37 м в.е. (68%) - ро ташкил медиҳад; миёнаи 0,17 м в.е. (29%). Фарқиати максималии тавозуни ҳаҷми солона, инчунин аз рӯйи санаҳои воқеӣ, 0,34 м в.е. (40%) бо миёнаи 0,05 м в.е. (9%) - ро ташкил дод. Маълумоти гирифташуда метавонад, ҳангоми ҳисобҳои пешгӯии тавозуни ҳаҷми беруна ва инчунин ҷараёни яхбандӣ истифода шавад.

V.P. KAPITSA, N.E. KASATKIN, Z.S. USMANOVA, D. KISEBAEV, T. SAKS, E.
MATTEA

**COMPARISON OF MODELED AND GLACIOLOGICAL MASS BALANCE
OF THE CENTRAL TUYIKSU GLACIER, NORTHERN SLOPE OF ILE-ALATAU**

Annotation. Using DMBSim model the results of mathematical modeling of mass balance for 2006-2023 balance years of the Central Tuyiksu glacier, located on the northern slope of Ile Alatau, Northern Tien Shan, were obtained. The input data used were air temperature and precipitation observations from the Tuyiksu weather station and total precipitation gauges, snow measurement surveys with pits, accumulation and ablation by rakes. The winter and annual mass balance values measured for the same period were then compared. The maximum discrepancy between the modeled winter mass balance and the measured one, based on actual dates, was observed in 2006/07 and was 0.37 m w.e. (68%); the mean was 0.17 m w.e. (29%). The maximum difference in annual mass balance, also based on actual dates, was 0.34 m w.e. (40%) with an average of 0.05 m w.e. (9%). The obtained data can be used for prognostic calculations of the external mass balance and glacial runoff.

КРИОСФЕРА
ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ «ЦЕНТР
ИЗУЧЕНИЯ ЛЕДНИКОВ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК
ТАДЖИКИСТАНА» № 3 (11), 2023 г.

ГИДРОСФЕРА

УДК 504.4

ПИМАНКИНА Н. В., БЛАГОВЕЩЕНСКАЯ О. В., ДИКИХ И. А.

**ОПАСНЫЕ ЯВЛЕНИЯ, СВЯЗАННЫЕ СО СНЕГОМ И ЛЬДОМ, В
КАЗАХСТАНЕ**

**Товарищество с ограниченной ответственностью «Центрально-Азиатский
Региональный Гляциологический Центр (категории 2) под эгидой ЮНЕСКО» (г.
Алматы, Казахстан)**

***Аннотация.** В статье приводится краткий обзор данных об опасных явлениях, связанных с воздействием на горную территорию Казахстана снега и льда за последние 10 лет наблюдений. Воздействие сильных снегопадов, метелей и последующая лавинная активность и снеговые заносы затрудняют эксплуатацию транспортных коммуникаций; гляциальные сели и тало-дождевые паводки подвергают опасности инфраструктуру. Наблюдаемое потепление климата Казахстана оказывает влияние на происходящие процессы. Необходим мониторинг криосферы для оценки опасности и рисков природных процессов, а также для оценки скорости и тенденций происходящих изменений. Для Атласа природных и техногенных опасностей составлены карты опасности и рисков различного масштаба. Приводятся фрагменты карт опасности сильных снегопадов и снеговых нагрузок в горах юго-восточного Казахстана.*

Ключевые слова: опасные природные процессы и явления, снегопады, лавины, сели, оценка опасности, карты.

Введение

Опасные природные явления (ОЯ) угрожают жизни и здоровью людей, окружающей среде, хозяйственным объектам. Данные последних лет о чрезвычайных ситуациях, вызванных сильными снегопадами, метелями, сходом снежных лавин, гляциальными селями, наблюдавшимися в Республике Казахстан, свидетельствуют о росте ущерба от стихийных процессов. Причиной является освоение и застройка новых территорий, возросшая мобильность населения, а также, возможно, климатические изменения. Большие расходы государства и частных компаний связаны прежде всего с расчисткой

снежных заносов и лавинных завалов, восстановлением движения транспорта и эвакуацией людей. Метелевый снегоперенос и снегоотложения приходится учитывать при проектировании и эксплуатации транспортных коммуникаций, протяженность которых в Казахстане составляет: автомобильных дорог более 94 тыс. км, железнодорожных линий - более 16 тыс. км (Бюллетень, 2023; Информационный лист, 2021). Сели гляциального происхождения приносят ущерб даже отдельным районам города Алматы. Требуется разработка методов управления риском экстремальных метеорологических и геологических явлений, включая создание карт лавинной и селевой опасности, а также снегоотложений и снеговых нагрузок.

Современные изменения климата

Вопросы, связанные с изменением климата, воздействием на криосферу и меры адаптации к ним, давно находятся в центре внимания ученых (Изменение климата: IPCC, 2014). Согласно сценариям повышения температуры на 2°C и уменьшения количества осадков на 30 процентов, в горах снеготопливы в марте уменьшатся примерно на 30 процентов (Hoelzle et. al., 2018). Потеплел климат Казахстана: согласно подсчетам, средняя годовая температура воздуха в среднем по территории страны за 1991-2020 гг. повысилась на 0,9°C по сравнению с предыдущим тридцатилетием 1961-1990 гг. (Восьмое Национальное Сообщение, 2022). По нашим подсчетам, в горах Алтая (МС Риддер, бывш. Лениногорск) и на Западном Тянь-Шане (МС Аул Турара Рыскулова) средняя температура воздуха за ноябрь-март за 1991-2019 гг. повысилась на 0,5°C по сравнению с предыдущим тридцатилетием 1961-1990 гг. (Пиманкина, Такибаев, 2021, Пиманкина, Такибаев, 2023). Однако в оценках экспертов нет единодушия в оценке темпов изменения климата по территории Центральной Азии. По-видимому, изменения

температуры и атмосферных осадков, в том числе твердых в виде снега, происходят неравномерно как по территории, так и по сезонам года. Для орографически сложной территории изменение выпадения осадков также характеризуется значительной изменчивостью, и тренды осадков во всех высотных зонах имеют как положительные, так и отрицательные значения. Несмотря на имеющиеся данные о потеплении климата в целом на территории страны, факты свидетельствуют о том, что опасность и риски, связанные со снегом и льдом, не становятся меньше. Связь изменения климата с частотой, интенсивностью, продолжительностью и разрушительностью природных опасных явлений требует изучения. Например, по данным авторов (Harrison et al., 2018), роль погодных условий в прорывах моренно-ледниковых озер может быть не очень велика - в Гималаях 53% прорывов озер были вызваны ледяными лавинами, 12% - каменными лавинами, 12 % - обрушением морен из-за инфильтрации воды.

Опасные явления. Приведем краткий анализ сообщений об ОЯ, наблюдавшихся в последние годы в горных районах Республики Казахстан. В таблице 1 приведены данные о наиболее значительных опасных гидрометеорологических и геологических явлениях, связанных со снегом и льдом, произошедших за период 2013-2023 гг.

Сведения приводятся согласно Обзорам стихийных гидрометеорологических явлений, подготовленных Казгидрометом, и сообщениям СМИ (Долгих, 2021; Жездибаева, 2023; В ВКО прокомментировали, 2019; Паводки в ЮКО, 2013; Сель в Талгаре, 2014; Сход селя, 2023; ЧС прокомментировал, 2015). Подвижки ледников и сарджи, относящиеся к опасным гляциальным явлениям (Yongpeng Gao et al., 2021), в нашем обзоре не рассматриваются из-за отсутствия информации и низкого риска для объектов и людей в РК.

Сообщения, публикуемые в СМИ и на сайтах департаментов ЧС, Казгидромета, Казавтодора, свидетельствуют о ежегодно возникающих чрезвычайных ситуациях, связанных со снегом, льдом, лавинами, селями. Вероятность возникновения чрезвычайных ситуаций велика в горных районах Туркестанской и Жамбылской областей, где высока плотность населения, находится много хозяйственных объектов, проходит автотрасса республиканского значения Алматы – Ташкент.

Таблица 1.

Некоторые примеры опасных явлений в Республике Казахстан, связанных со снегом и льдом, за период 2013-2023 гг.

Место	Дата, год	Тип опасного явления	Ущерб
Южно-Казахст. обл., Сарыагашский район	14 января 2013 г	Сильные тало-дождевые паводки	Подъем уровня воды на реках на 2 м, подтоплены дома, падеж скота
г. Алматы, рр. Акжар, Кумбель, Сарысай, Чимбулак	Июнь-июль 2013 г	Селевые выбросы	Снесено противоселевое сооружение, буреломы
Алматинская обл. р. Талгар	17 июля 2014 г.	Гляциальный селевой поток от ледника № 150	Подтоплены дома, кафе, транспорт, участки дороги, нарушено водоснабжение города
г. Алматы, р. Каргалы	22-23 июля 2015 г.	Гляциальный селевой поток	Пострадало 456 домов, эвакуировано 1036 чел. Разрушено 7 мостов. На ликвидацию ущерба потребовалось 2, 2 млрд. тенге
Восточно-Казахстанская обл., р. Тургусун	19 мая 2019 г.	Сильный тало-дождевой паводок, возможно, прорыв моренного озера	Разрушение объектов Тургусунской ГЭС, ущерб 1 млрд тенге
Восточно-Казахстанская обл., г. Риддер	10 февраля 2021 г	Лавина	Погиб турист
Восточно-Казахстанская обл., г. Усть-Каменогорск	13-14 декабря 2022 г	Сильный снег в течение 30 час. подряд Снеговые заносы	Прервана связь с отдаленными пунктами и зимовками, останавливался городской транспорт,

			закрывались участки трассы
Туркестанская обл., р. Арыс	Февраль 2023 г.	Сильные тало-дождевые паводки	Подтопление домов, эвакуация населения. Привлечены силы МЧС, военнослужащие, волонтеры
Алматинская обл. рр. Талгар, Шиен	24 июля 2023 г.	Селевые выбросы	Подтоплены дома в пос Шиен, Караарша. Эвакуировано 250 детей из летнего лагеря. Вывезено 40 КАМАЗов мусора
г. Алматы, р. Малая Алматинка, ледник Туюксу	16 октября 2023 г.	Лавина	Погиб турист
Туркестанская обл., перевалы Куюк, Кордай	12-18 декабря 2023 г.	Снегопады, гололед, метели, снежные заносы	Закрыты участки трассы, отменено движение 5 поездов, остановлены 200 фур

В горных районах Восточно-Казахстанской и Алматинской областей наибольшая опасность в настоящее время связана с локальными селевыми выбросами, сильными тало-дождевыми паводками, метелями. В результате сильных снегопадов и последующего массового схода лавин, сильного метелевого переноса движение автомобильного и железнодорожного транспорта останавливается на несколько часов или даже несколько суток, так как расчистка завалов требует много времени. Сильные тало-дождевые паводки приводят к подтоплению дачных массивов, размыву участков дорог местного значения и разрушению мостов.

На фото 1 представлены результаты сильных тало-дождевых паводков, наблюдавшихся в различных регионах Казахстана.



Фото 1 - Восточный Казахстан: тало-дождевой паводок на р. Тургусун 19 мая 2019 г. разрушил объекты строящейся ГЭС (справа). Южный Казахстан: зимний паводок 14 января 2013 г. в Сарыагашском районе (слева). Фото из электронных СМИ (<https://kz.kursiv.media/2019-05-22/v-vko-prokommentirovali-situaciyu-s-podtopleniem-turgusunskoy-ges/> ; <http://www.youtube.com/watch?v=abKl-4WAVfM>)

Разрушение одного из объектов – строящейся на Алтае Тургусунской ГЭС мощностью 25 МВ – не повлекло гибель людей, однако материальный ущерб составил примерно 1 млрд тенге. Причиной явился сильный тало-дождевой паводок, а возможно, и прорыв одного из моренных озер, которые расположены в истоках р. Малый Тургусун. На рисунке 1 представлен снимок Ландсат с нанесенными возможными путями схода снего-водоледового потока.

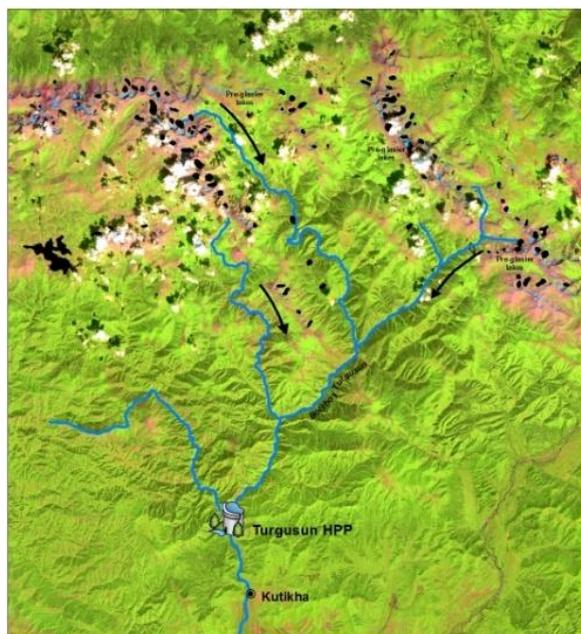


Рис. 1. Верховья р. Тургусун, с. Кутиха и ГЭС. Стрелками отмечены возможные пути стока в результате прорыва моренного озера. Снимок Ландсат (свободно распространяемый).

Меры по снижению риска. Специалисты МЧС, Казгидромета, «Казселезащиты» традиционно выполняют мониторинг состояния окружающей среды, предупреждают население о возможной опасности, связанной с рядом гидрометеорологических и геологических процессов и явлений, дают ряд рекомендаций по защите жизни и здоровья, уменьшению материального ущерба. Организационно-технические мероприятия известны: они включают установку систем оповещения, инновационные технологии, информирование населения. Понятно, что сложно установить технические средства во всех 497 лавиносборах Восточно-Казахстанской области или охватить автоматизированной системой мониторинга более 400 моренных озер в Жетысу Алатау (Медеу и др., 2018). Меры инженерной защиты включают сооружение дамб (например, летом 2023 г. селезащитная дамба сооружена в бассейне р. Улкен Алматы (Большая Алматинка), в русле ручья Аюсай (территория г. Алматы).



Фото 2 – селезадерживающая плотина в бассейне р. Улкен Алматы, 01.06. 2023
г. <https://www.akorda.kz/ru/glava-gosudarstva-posetil-selezaderzhivayushchuyu-plotinu-ayusay-v-almaty-1875658>

Высота селезадерживающей плотины Аюсай по проекту составляет более 41 м, объем селехранилища – 2,3 млн м³ .

Мероприятия административно-профилактические включают моделирование опасных процессов, зонирование риска, прогноз опасности во времени, наложение ограничений на землепользование и, по сути, включают в себя исследование опасных процессов (Петраков, 2010). Научно-обоснованные рекомендации по предотвращению и защите от ОЯ требуют их исследования. Специалисты различных организаций РК, Института географии и водной безопасности, а также ЦАРГЦ участвуют в разработке предложений и рекомендаций по методике и практике проведения мониторинга криосферы, снижению риска возникновения чрезвычайных ситуаций от прорывоопасных озер, оценке риска бедствий с использованием инновационных технологий. Для информирования об опасностях и рисках лавин, селей, сильных снегопадов и других опасных явлений природного и техногенного

характера в Республике Казахстан составлены оценочные карты различного масштаба (Атлас природных и техногенных опасностей, 2009). На рисунке 2 представлена карта М 1: 500 000, составленная авторами, на которой отражена степень опасности сильных снегопадов. На карте опасности снегопадов ранжирование проведено по максимальному количеству твердых осадков за сутки и повторяемости сильных снегопадов, способных создать чрезвычайные ситуации в горной территории. Понятие «опасности» нами рассматривалось как ситуация, в которой происходят в данный момент или могут произойти нежелательные события, вызывающие отклонения в состоянии здоровья и жизнедеятельности человека как в уже освоенных местностях с действующими сооружениями, так и в необжитых труднодоступных в настоящий момент горных территориях. Большая часть средне- и высокогорной зоны хребтов попадает в градации значительной и сильной степени опасности обильных снегопадов. В горной зоне число дней со снегопадами достигает максимума в Угамском хребте (МС Чуулдак) – 105 дней, в Иле Алатау (МС Верхний Горельник) – 54, на Алтае (с. Карагужиха)- 69.

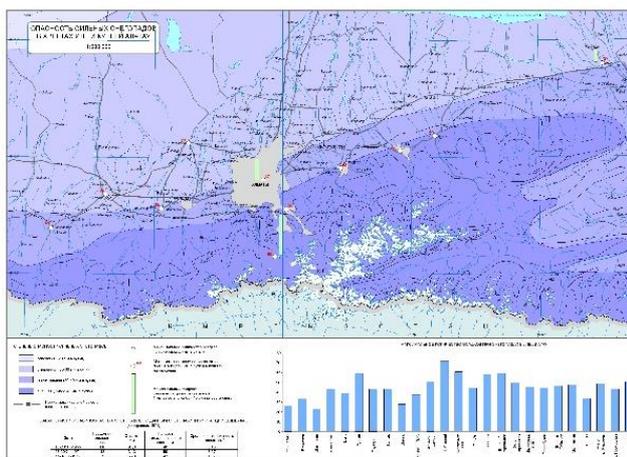


Рис. 2. Карта опасности сильных снегопадов в юго-восточном Казахстане (хребты Иле Алатау и Кунгей Алатау).

Прирост снега за сутки в горах Алтая может составить 39 см (МС Зыряновск) и 35 см (МС Риддер), в хр. Каратау 54 см (МС Ачисай).

Заключение

Приведенные в данном обзоре случаи опасных явлений, связанных со снегом и льдом, дают возможность говорить о том, что социальные и материальные потери в горных районах вследствие освоения новых территорий, развития туризма и возросшей мобильности населения будут возрастать. Климатические изменения внесут вклад в частоту и разрушительность опасных явлений, поскольку повышение температуры воздуха (среднегодовой, летней) вызовет изменения в различных компонентах криосферы. Однако климатические факторы являются далеко не единственными в формировании ряда характеристик природной среды, и всесторонний мониторинг наряду с превентивными мерами должны выполняться в будущем.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан по теме «Ледниковые системы трансграничных бассейнов Центральной Азии: состояние, современные и прогнозные изменения, роль в обеспечении водной безопасности стран региона», ИРН BR 18574176.

Литература

1. Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций в Республике Казахстан / Алматы: 2009. - 246 с. <https://cesdrr.org>
2. Бюллетень «Основные показатели транспорта РК». Электронная таблица, 2023 г. <https://stat.gov.kz/ru/industries/business-statistics/stat-transport/spreadsheets>
3. В ВКО прокомментировали ситуацию с подтоплением Тургусунской ГЭС <https://kz.kursiv.media/2019-05-22/v-vko-prokommentirovali-situaciyu-s-podtopleniem-turgusunskoj-ges/> [Электронный ресурс]

4. 8-е национальное сообщение и 5-й двухгодичный доклад Республики Казахстан Рамочной Конвенции ООН об Изменении Климата. – Астана: 2022. - 491 с. ISBN 978-601-269-214-3.
5. Долгих, С. Стихийные гидрометеорологические явления, наблюдавшиеся на территории Казахстана в 2020 году // Гидрометеорология и экология, № 4. - 2021. - с. 53-86.
<https://doi.org/10.54668/2789-6323-2021-103-4-53-86>
<https://www.kazhydromet.kz/ru/>
6. Жездибаева, Б. Обзор стихийных гидрометеорологических явлений, наблюдавшихся на территории Республики Казахстан в 2021 году. //Гидрометеорология и экология, № 1. - 2023.- С. 42-77.
<https://doi.org/10.54668/2789-6323-2023-108-1-42-77>
<https://www.kazhydromet.kz/ru/>
7. Изменение климата: IPCC, Обобщающий доклад. Вклад Рабочих групп I, II и III в Пятый оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата [основная группа авторов, Р.К. Пачаури и Л.А. Мейер (ред.)]. / МГЭИК, Женева: 2014.- 163 стр. - Available from <http://www.ipcc.ch/report, www.climatechange2013.org> .Дата обращения 05.05.2021.
8. Информационный лист № 2 за II квартал 2021 г.- АНЭК.
https://kazlogistics.kz/storage/corfond/2kv_ANEK.pdf
9. Медеу, А.Р., Благовещенский В.П., Баймолдаев Т.А., Киренская Т.Л., Степанов Б.С. Селевые явления юго-восточного Казахстана. Т.2. Ч.2. Основы мониторинга в Иле Алатау. – Алматы: 2018. – 288 с. ISBN 978-601-7150-92-1
10. Паводки в ЮКО <http://www.youtube.com/watch?v=abKl-4WAVfM> [Электронный ресурс]
11. Петраков, Д.А. Опасные гляциальные процессы и защита от них//Геориск, № 2. -2010. – с. 6-14.

12. Пиманкина, Н.В., Такибаев, Ж. Многолетняя изменчивость снежных ресурсов в Казахском Алтае - // - Криосфера, № 1-2 (1), Душанбе, РТ. - 2021. - С. 109-122. ISSN 2789-8326 <http://cryosphere.tj>
13. Пиманкина, Н.В., Такибаев, Ж.Д. Динамика снежного покрова в бассейне р. Арыс в условиях изменения климата// Вестник КазНУ, сер. геогр. - 2023.-т. 70. №3 . - С. 40-50. <https://doi.org/10.26577/JGEM.2023.v70.i3.06>
14. Сель в Талгаре: хроника. <https://365info.kz/2014/07/sel-v-talgare-xronika-eksklyuzivnye-foto-video-svidetelstva-ochevidcev> [Электронный ресурс].
15. Сход селя пережили три района Алматинской области. <https://www.ktk.kz/ru/news/video/2023/07/24/247884/> [Электронный ресурс].
16. ЧС прокомментировал сход селя в Наурызбайском районе г. Алматы. <https://rus.azattyq.org/a/27147919.html> [Электронный ресурс].
17. Harrison, S., Kargel J., Huggel C., Reynolds J., Shugar D., Richard A. Betts, Adam Emmer, Neil Glasser, Umesh K. Haritashya, Jan Klimeš, Liam Reinhardt, Yvonne Schaub, Andy Wiltshire, Dhananjay Regmi, and Vít Vilímek. Climate change and the global pattern of moraine-dammed glacial lake outburst floods//The Cryosphere, 12, 1195–1209, 2018. <https://doi.org/10.5194/tc-12-1195-2018>
18. Hoelzle, M., Barandun, M., Bolch, T., Fiddes, J., Gafurov, A., Muccione, V., Saks, T. and Shahgedanova, M. The status and role of the alpine cryosphere in Central Asia./ In: Xenarios, S., Schmidt-Vogt, D., Qadir, M., Janusz-Pawletta, B. and Abdullaev, I. (eds.) The Aral Sea Basin: Water for Sustainable Development in Central Asia. Earthscan Series on Major

River Basins of the World. - London: Routledge, 2019. – 228 p. ISBN 9780429436475

19. Yongpeng Gao, Shiyin Liu, Miaomiao Qi, Fuming Xie, Kunpeng Wu, Yu Zhu. Glacier-Related Hazards Along the International Karakoram Highway: Status and Future Perspectives //Front. Earth Sci., 16 February 2021. Sec. Cryospheric Sciences. Volume 9. <https://doi.org/10.3389/feart.2021.611501>

ПИМАНКИНА Н. В., БЛАГОВЕШЕНСКАЯ О. В., ДИКИХ И.А.

ПАДИДАҲОИ ХАВҲНОК БА БАРҒУ ЯХ ДАР ҚАЗОКИСТОН

Шарики масъулияташ маҳдуди «Маркази минтақавии пиряхшиносии Осиёи Марказӣ (категорияи 2) таҳти сарпарастии ЮНЕСКО» (Алмаато, Қазоқистон)
pimankina@mail.ru

***Аннотатсия.** Дар мақола шарҳи мухтасари маълумот дар бораи падидаҳои хатарноки марбут ба таъсири барғу ях ба қаламрави кӯҳистонии Қазоқистон дар тӯли 10 соли мушоҳидаҳо оварда шудааст. Таъсири боридани барғи зиёд, барғу барф ва фаъолияти минбаъдаи тарма ва резиши барф кори коммуникатсияҳои нақлиётро душвор мегардонад; Селҳои пиряхӣ ва обхезии боронҳои обшуда инфрасохторро зери хатар мегузоранд. Гармшавии мушоҳидаи иқлим дар Қазоқистон ба процессҳои давомдошта таъсир мерасонад. Мониторинги криосфера барои арзёбии хатарҳо ва хатарҳои равандҳои табиӣ, инчунин барои арзёбии суръат ва тамоюлҳои тағирот зарур аст. Барои Атласи хатарҳои табиӣ ва техногенӣ харитаҳои хатарҳо ва хатарҳои миқёсҳои гуногун тартиб дода шудаанд. Порчаҳои харитаҳои хатарҳои боридани барф ва бориши барф дар кӯҳистони ҷанубу шарқии Қазоқистон оварда шудаанд.*

Калидвожаҳо: равандҳо ва падидаҳои хатарноки табиӣ, бориши барф, тарма, сел, арзёбии хатар, харитаҳо.

PIMANKINA N. V., BLAGOVESHCHENSKAYA O.V., DIKICH I.A.

HAZARDOUS PHENOMENA RELATED TO SNOW AND ICE IN KAZAKHSTAN

Limited Liability Partnership "Central Asian Regional Glaciological Center (category 2) under the auspices of UNESCO" (Almaty, Kazakhstan) pimankina@mail.ru

Abstract. *The article provides a brief overview of data on hazardous processes associated with the impact of snow and ice on the mountainous territory of Kazakhstan over the past 10 years of observations. The impact of heavy snowfalls, blizzards and subsequent avalanche activity and snow drifts influence the transport communications; glacial mudflows and snowmelt floods endanger infrastructure. The observed warming of the climate in Kazakhstan affects the ongoing processes. Monitoring of the cryosphere is necessary to assess the hazards and risks of natural processes, as well as to assess the rate and trends of changes. Hazard and risk maps of various scales were compiled for the Atlas of Natural and Technogenic Hazards in RK. Fragments of maps of the danger of heavy snowfalls and snow loads in the mountains of south-eastern Kazakhstan are presented.*

Key words: natural hazards and processes, snowfalls, snow avalanches, flash floods, risk assessment, maps.

Сведения об авторах:

Пиманкина Нина Валерьевна, Республика Казахстан, Алматы, ул. Пушкина 99. Товарищество с ограниченной ответственностью «Центрально-Азиатский Региональный Гляциологический Центр (категории 2) под эгидой ЮНЕСКО» (г. Алматы, Казахстан), pimankina@mail.ru

Благовещенская Ольга Викторовна, Республика Казахстан, Алматы, ул. Пушкина 99.

Товарищество с ограниченной ответственностью «Центрально-Азиатский Региональный

Гляциологический Центр (категории 2) под эгидой ЮНЕСКО» (г. Алматы, Казахстан), olgakvendy@mail.ru

Диких Ирина Александровна, Республика Казахстан, Алматы, ул. Пушкина 99.

Товарищество с ограниченной ответственностью «Центрально-Азиатский Региональный

Гляциологический Центр (категории 2) под эгидой ЮНЕСКО» (г. Алматы, Казахстан), reb0203@mail.ru

УДК 556.6

А. И. РАХИМОВ, С. Я. АБДУРАХИМОВ

ГИДРОГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ
ВОДОДЕФИЦИТНЫХ РАЙОНОВ ТАДЖИКИСТАНА

В Таджикистане при огромных водных ресурсах обнаружился их острый дефицит, особенно в вегетационный период и во время самых низких температур, когда из-за прекращения таяния ледников не хватает воды для выработки электроэнергии на гидроэлектростанциях. Только в вегетационный период дефицит воды составляет 560 млн. м³, в т.ч. в бассейне Амударьи 465,5 млн. м³ и в бассейне Сырдарьи 94 млн м³ (4).

С неравномерным распространением воды связаны большие проблемы. Ниже по рельефу от зоны развития оледенения формируется большое количество озер, образующихся в результате завалов русел рек в результате сейсмичности, активизирующей такие геодинамические процессы, как оползни, лавины, сели и пр. В таких озерах накоплено свыше 40 км³ воды, которая представляет собой не только огромные и ценные водные ресурсы. Широкою мировую известность имеет Сарезское озеро в долине р. Мургаб. Глубина его достигает 500 м, а количество воды оценивается в 17 км³.

Анализ процессов формирования качественного состава природных вод свидетельствует о том, что в горной части республики, которая резко превалирует по площади, преобладающая роль принадлежит естественным, природным факторам. Основную роль в

загрязнении природных вод играют сточные, возвратные и техногенные воды.

Так, только в бассейне Сырдарьи в Таджикистане и Кыргызстане имеются десятки законсервированных и действующих объектов горнодобывающей промышленности. Объемы твердых отходов, содержащихся в этих отходах, достигают 1 млрд. м³. Большинство этих потенциально экологически опасных объектов находится в плачевном состоянии. Многие из них размещены в долинах и даже руслах рек. Они являются источниками загрязнения природных вод в бассейне р. Сырдарьи тяжелыми металлами (свинцом, цинком, медью, хромом, никелем, кадмием, ртутью). Так, концентрации этих металлов в водах р. Сырдарьи ниже по течению от г. Намангана достигают: по свинцу 100 ПДК, по цинку более 10 ПДК, по меди более 30 ПДК. По долине притока Сырдарьи, Сомгар с 1950 по 1978 гг. разрабатывалось месторождение полиметаллов.

В водах, грунтах и почвах республики распространены такие металлы, как медь, цинк, свинец, марганец, никель, мышьяк, серебро, ртуть. Свинец, мышьяк, цинк и ртуть по ГОСТ 17.4.02-83 относятся к веществам 1-го класса опасности; медь – второго класса, а марганец, серебро и никель – к третьему классу опасности. В Северном Таджикистане, в пределах Сырдарьинского макробассейна стока обследовано и рассчитаны фоновое значение, коэффициент загрязнения и суммарный показатель загрязнения. Наиболее высокими концентрациями в водах, почвах и грунтах характеризуются свинец, серебро и цинк. Они обычно присутствуют в водах, грунтах и почвах совместно и превалируют над другими элементами в 10 раз и более. Наиболее высокие концентрации этих элементов в водах и почвах установлены в Зарнисаре, Истиклале, а также в районах свинцово-цинковых горнодобывающих предприятий, на северных склонах гор.

Моголтау, Акбель и Шумтаг (2,3,13,14,15). Здесь концентрации свинца, цинка и серебра в водах и почвах достигают соответственно: 0,1, 0,5 и 0,03 мг/л и 100, 200 и 20 мг/кг; Кс составил соответственно 12,3, 2,0 и 48,8, а суммарный показатель загрязнения достиг 65,5. Ареалы загрязнения природных вод, а так же почв, грунтов и растительности прослежены на 20 км к юго-западу от п. Адрасман, где суммарный показатель загрязнения геологической среды достигает 29. На этом участке определен и геохимический фон марганца в почвах и грунтах (380 мг/кг) и аномальные его содержания на конусах выноса Кармазарсая и в урочищах Беномозбола и Дашта соответственно 2000 мг/кг; 1200 мг/кг и 1300 мг/кг в пробах № 321, 328 и 329. Кс составил 3,45, 2,07 и 2,21.

Местами содержания свинца, цинка и серебра превышают фоновые значения в воде и почве (0,01 мг/л и 84,2 мг/кг, 0,03 мг/л и 0,4 мг/кг и 0,001 мг/л и 0,8 мг/кг соответственно) более чем в 20 раз, и они преобладает над остальными элементами (14,15). Максимальные их содержания в водах и почвах установлены на руднике Зарнисаре . Концентрации свинца достигают здесь соответственно 0,15 мг/л и 2000 мг/кг при Кс – 4,7÷5,9, цинка 3 мг/л и 2000 мг/кг при Кс до 18,3, серебра 0,05 мг/л и 7 мг/кг при Кс – 8,3. Они присутствуют в почве и воде, как правило, совместно, как например, в п. Адрасман, п. Кансай, к. Такели и г. Истклом.

Весьма высокие концентрации свинца в водах и почвах выявлены в г. Чкаловске и у к. Исписор в пределах от 0,1÷0,6 мг/л и 200÷1000 мг/кг при Кс – до 22,0, а также у к. Кстакос. Фоновые концентрации металлов в почвах по результатам других авторов составил для марганца 494 мг/кг, никеля - 26, меди – 39,4, цинка – 68,8, серебра – 0,5 мг/кг (3, 5,10,12). Содержание этих металлов на у к. Калачи не превышает фон.

У к. Таджикабад Расуловского и Спитаменского районов в водах и почвах установлены по свинцу 0,1 мг/л и 400 мг/кг при Кс до 34,2, а так же по серебру - 0,01 мг/л и 15 мг/кг при Кс - 44,1. Содержание здесь марганца в почвах по результатам предшествующих исследований составило 100÷1200 мг/кг при Кс - 2,70 (13,14). Геохимический фон по металлам в почвах здесь повышен: по свинцу 43,9 мг/кг, по никелю 19,2, по меди - 29,1, по цинку - 43, по мышьяку 6,4, серебру - 0,3 и ртути - 2,0 мг/кг.

У поселка Сырдарьинский г. Чкаловск и у к. Гунт Ганчинского района аномальные концентрации свинца и серебра в отдельных пробах вод и почв превышают фоновые значения в 10 раз и более. Концентрации свинца достигают 0,1÷0,01 мг/л и 700÷1500 мг/кг при Кс до 15,8, серебра 0,003÷0,3 мг/л и 30÷50 мг/кг при Кс 73÷122. Содержание ртути в почвах по данным предшествующих исследований (4, 5, 13,14) составляет 20 мг/кг при Кс - до 452 460 в Зафарободском и у к. Хитореза Расуловского районов. Содержание других металлов не превысило 1,5÷2,0 фоновых значений, которые определены для свинца - 44,4 мг/кг, марганца - 477,9, никеля - 17,4, меди - 26,2, цинка - 7,3, мышьяка - 7,8, серебра - 0,4 и ртути - 4,4 мг/кг. По рекомендациям Ю.Е. Саета (8,9,10) выполнен расчет суммарных показателей загрязнения, что позволило ранжировать участки по интенсивности превышения содержания металлов в природных водах и почвах над фоном, по следующей градации: 1) фоновые ($Z_c \leq 7$); 2) с допустимым уровнем загрязнения ($Z_c = 7 \div 14$); 3) с умеренно-опасным уровнем загрязнения ($Z_c = 14 \div 28$); 4) с опасным уровнем загрязнения ($Z_c = 28 \div 112$); 5) с чрезвычайно опасным уровнем загрязнения ($Z_c > 112$). Эти градации по мнению специалистов соответствуют степени опасности металлов для здоровья человека: 1) допустимый и плохо изученный фоновый уровень, характерный для зон с низким уровнем заболеваемости и низкой частотой проявления

функциональных отклонений; 2) умеренно-опасный уровень с соответствующим ростом частоты общей заболеваемости населения; 3) опасный уровень с ростом частоты хронических заболеваний и функциональных отклонений; 4) чрезвычайно опасный уровень с ростом частоты нарушений и отклонений репродуктивных функций (3,4,13,16).

При изучении по содержанию тяжелых металлов в водах, почвах и грунтах и по степени их опасности для здоровья населения установлено, что большая часть опасных участков, как было установлено ранее [4, 396], находится на правом берегу р. Сырдарьи. В то же время, в Дальварзинской степи на левом берегу Сырдарьи концентрации металлов в почвах, водах и растениях не превышают фона.

В региональном плане значительная часть металлов, попавших в природные воды, почвы и грунты и определяющих уровень загрязнения, обусловлена геолого-геохимической природой территории. Площади с высоким уровнем загрязнения природных вод, почв и грунтов ($Z_c=47,4\div 71,8$) выявлены в районах интенсивной техногенной деятельности: пос. Зарнисар, Такели и Адрасман, вдоль действующего пульпопровода и хвостохранилища АСЦК.

Ареалы и потоки рассеяния аномальных концентраций тяжелых металлов, загрязняющие природные воды, грунты, почвы и растительность сформировались вокруг горнохимических комбинатов в гг. Чкаловск, Исфара, Истиклол с отвалами отходов, сбросами сточных вод и газопылевыми выбросами, а так же горнодобывающих предприятий и населенных пунктов, в которых они расположены: Адрасман, Кансай, Чорух-Дайрон, Зарнисор, Такели, Шураб и др. Ареалы и потоки рассеяния токсичных, элементов распространились в пределах городов, поселков, пастбищ и сельхозугодий на расстояние от предприятий на 100÷200 км. Только в долине р. Сырдарьи более 60% урбанизированных территорий загрязнено до опасного и чрезвычайно опасного уровня, но до 70%

территории республики можно еще отнести к районам с допустимым уровнем загрязнения.

Орошаемые массивы тяготеют к супераквальным ландшафтам. Большое значение для состояния гидросферы имеет активность проявления таких геодинамических процессов, как эрозия почв и грунтов, особенно, в речных долинах, суффозионные процессы, просадки в лессовидных грунтах, оврагообразование, оползни и оплывины, селевые потоки, засоление и заболачивание почв и грунтов.

Ареалы и потоки загрязняющих веществ формируются на участках: а) выпадения газопылевых выбросов предприятий, энергетических установок и транспорта; б) инфильтрации различных загрязненных сточных вод; в) скоплений крупнотоннажных твердых и жидких отходов производства и потребления; г) вокруг плохо оборудованных складов средств химизации сельского хозяйства; д) вокруг различных источников загрязнения. Выявлены такие загрязняющие органические вещества, как фенолы, нефтепродукты, пестициды и синтетически активные вещества. Стрелками на карте показано направление миграции загрязняющих веществ.

Таким образом, построенная нами схематическая гидрогеоэкологическая карта таджикской территории Сырдарьинского макробассейна стока представляет собой объемную модель, отражающую картину развития процессов техногенеза в гидросфере региона.

На Таджикском участке реки Сырдарья значительные концентрации загрязняющих веществ с 2÷5 кратным превышением фоновых содержаний приурочены преимущественно к правобережной части реки, например, на участке в районе к. Хамрабад на мраморном заводе, в г. Худжанде, в кишлаках Окташ, Табошар, в пос. Такели и в урочище Дашт в долине ручья Уткенсай (1,2). Выявлены повышенные и аномальные

концентрации широкой ассоциации химических элементов (свинца, марганца, меди, цинка, титана, стронция, серебра и брома) не только в водах почвах и грунтах, но и в растениях. Такие концентрации установлены, как в природе, так и в культурной растительности (в составе саксаула, в абрикосе, арче, в полыни рузу, в кукурузе, в копеечниках, латуке татарском, резеде, щетиннике, персике и колючке).

Процессы техногенеза негативно воздействуют на всю экосистему, и, прежде всего, на состояние водоемов, подвергая природные воды загрязнению и метаморфизации за счет повышения концентраций супертехнофильных и высокотехнофильных элементов: хлора, серы, азота, углерода, натрия, кальция, магния.

При оценке уязвимости окружающей среды к загрязнению проанализированы физико-географические особенности региона, а защищенность подземных вод рассматривается, как свойство природной системы сохранять на определенный период состав и качество среды в пределах требуемых норм. Устойчивость по А.Я. Гаеву (7,8) – это термин противоположный понятию уязвимости геологической среды. Чем больше ее устойчивость, тем меньше ее уязвимость. Оценка уязвимости геологической среды к загрязнению необходима для обоснования мероприятий по защите окружающей среды. Сделана попытка оценки и картографирования уязвимости территории к загрязнению на основе: 1) экспертной, качественной оценки территории и влияния разных факторов на уязвимость водоносных горизонтов; 2) количественной оценки с расчетом Мпдв и скорости проникновения загрязняющего вещества в конкретный водоносный горизонт с учетом свойств загрязняющего вещества. При этом учтена способность пород удалять из подземных вод загрязняющие вещества путем адсорбции, ионного обмена, осаждения и разложения органического вещества кислородом и микроорганизмами. Важными для оценки уязвимости окружающей

среды являются фильтрационные свойства и физико-химическая активность пород. Переход к количественным показателям уязвимости подземных вод к загрязнению выполнен на основе использования величины инфильтрационного питания грунтовых вод в л/с-км² и учета данных о сорбционных свойствах пород и миграционных параметрах загрязняющих веществ. Для количественной оценки загрязнения экологической среды использован модуль предельно-допустимого загрязнения Мпдв, который отражает запас экологической устойчивости урбанизированной территории, часть которой утрачивается, и при дальнейшем развитии производительных сил возникает проблема непрерывного прогноза возрастающей уязвимости территории к загрязнению.

С этой целью необходимо строить карты природопользования и ретроспективные карты, показывающие, как с ростом техногенной нагрузки истощается естественная устойчивость территории к загрязнению, а уязвимость ее возрастает. Поэтому планы перспективного развития производительных сил должны сопровождаться разработкой мероприятий по защите окружающей среды и построением схем типизации по уязвимости геологической среды к загрязнению. На такой карте по территории Таджикистана видно, что уязвимость геоэкологической среды к загрязнению растет от высокогорных районов к районам с пониженным рельефом.

Для защиты водохозяйственных объектов вододефицитных районов от загрязнения рекомендуется создавать комплексные, геохимические и гидродинамические барьеры. Между водозаборами пресных и дренажами загрязненных вод формируются гибкие непроницаемые барьеры, исключая поступление загрязняющих веществ в водозабор.

На государственном уровне в республике принято решение о переводе хозяйственно-питьевого водоснабжения населения за счет подземных вод, отличающихся от поверхностного более высокого качества [13,14,15]. Выполнение этого решения исключительно актуально по следующим причинам: 1. Результаты мониторинга в горнодобывающих районах Таджикистана в последние 15 лет свидетельствуют о 100% загрязнении поверхностных вод. 2. Из-за высокой заболеваемости и смертности населения по причине использования недоброкачественной воды.

Полезной для организма является вода, содержащая все химические элементы периодической системы в определенных концентрациях и находящаяся в равновесно-неравновесном состоянии в системе вода – порода – газ – живое вещество. Такая вода формируется только в подземных горизонтах и положительно воздействует на иммунитет человека и животных, обладая фитонцидностью по отношению к болезнетворным бактериям. Во многих районах республики до сих пор для водоснабжения используются поверхностные воды. Использование поверхностной воды для питья связано с высокими эксплуатационными затратами на подготовку воды и другими трудностями. Возможно решить вопрос водоснабжения населения: а) за счет аллювиального водоносного горизонта из-под водохранилищ, где этот горизонт достаточно мощный; б) путем магазинирования подземных вод в пределах массивов терригенно-карбонатных пород палеозойского возраста.

Аналогичные объекты в России, подтверждающие обоснованность решения о строительстве специфических аллювиальных водозаборов вблизи водохранилищ. Например, в долине р. Урал ниже пос. Ириклинский имеются водозаборы подземных вод, эксплуатирующие аллювиальный водоносный горизонт. Наиболее крупным из них

является Гайский, расположенный в 18 км северо-восточнее г. Гая на правом берегу р. Урал, в 6 км севернее и северо-западнее пос. Калпакское. Месторождение было разведано в 1958, 1959 гг. Оно находится в излучине Урала, в 13 км ниже по течению от плотины Ириклинской ГЭС. Мощность аллювия в долине р. Урал составляет 15÷18 м, средняя мощность песчано-гравийно-галечных отложений – 13 м. Водозабор состоит из 23 скважин. Ранее он принадлежал Гайскому ГОКу, а ныне передан и эксплуатируется согласно лицензии специализированным предприятием Гайским МПП ЖКХ. Из разведанных и утвержденных ТКЗ, запасов подземных вод в количестве 67.1 тыс.м³/сут (в т.ч. по категории А = 45.5; В = 23.6 тыс.м³/сут) отбирается с 2003 г. 11.6 тыс.м³/сут (6,10)

В среднем каждый житель г. Гая получает 265 л/сут хозяйственно-питьевой воды, отвечающей всем требованиям СанПиН (7). В процессе разведки Гайского месторождения, когда сток р. Урал еще не был зарегулирован, периодически отмечались случаи роста сухого остатка воды до 0.7÷0.8 г/л, а жесткость периодически превышала 7 мг-экв/л. После ввода в эксплуатацию Ириклинского водохранилища и многолетней промывки аллювиального водоносного горизонта качество подземных вод выровнялось и фактически повторяет химический состав вод водоема. В результате за последние годы (6,7,8,9), согласно данным мониторингине отмечаются случаи превышения санитарных питьевых норм на водозаборе ни по одному показателю. В частности, начиная с 2003,2004 гг., минерализация подземных вод не выходила за пределы 304÷398 мг/л, а общая жесткость составила 3.5÷4.6 мг-экв/л, т.е. фактически повторяются данные гидрохимии водохранилища. В целом аллювиальный водозабор г. Гая, в долине р. Урал характеризуется весьма качественной и устойчивой по составу питьевой водой. Аналогичный водозабор, но всего из 3-х скважин расположен в долине р. Урал

непосредственно ниже пос. Ириклинский, обеспечивая этот поселок водой тоже хорошего качества.

Приведенные данные свидетельствуют о возможности привлечения аллювиального горизонта для решения вопроса о водоснабжении населения горнодобывающих районов Таджикистана за счет подземных водоисточников хорошего качества. При этом аллювиальный водоносный горизонт может быть обеспечен восполнением своих запасов за счет инфильтрации вод из водохранилища. Если учесть, что в республике уже сегодня существует несколько сот водохранилищ, становится очевидной возможность широкого применения метода магазинирования подземных вод вблизи водохранилищ, что может иметь исключительно важное значение для перспектив развития хозяйственно-питьевого водоснабжения юга населения республики высококачественной водой. В случае необходимости утверждения запасов, вопрос может быть решен по результатам годового цикла эксплуатации будущих водозаборов. Анализ экологического состояния территории Таджикистана и оценка гидрогеоэкологической ситуации техногенно нарушенных районов позволили установить, что интенсивность и масштабность проявления техногенной трансформации природных вод зависят от продолжительности освоения территории, площади нарушенных земель и объемов добываемого сырья.

Литература

1. Абдурахимов, С. Я. Особенности гидрогеоэкологии малых рек Северо-Ферганского региона / Абдурахимов, С. Я., Д. Н. Саидова, А. И. Рахимов // Материалы науч.-практ. конференции «Водохозяйственные проблемы и рациональное природопользование». Ч.1. – Оренбург: ОГУ, 2008. – С.70–7

2. Абдурахимов С.Я. Инновационно-геоэкологические проблемы природно-техногенного разнообразия Таджикистана. Изд. «Меъроч». Худжанд. 2014, 427 с.

3. Абдурахимов, С. Я. Геоэкологические проблемы техногенеза на территории Северного Таджикистана / С. Я. Абдурахимов. – Пермь: ПГУ, 2003. – 147 с.

4. Айтматов, И. Т. Загрязнение поверхностных вод в бассейне Сырдарьи отходами горного производства / И. Т. Айтматов, И. А. Торгоев, Ю. Г. Алешин // Вода и устойчивое развитие Центральной Азии. Мат. проектов «Региональное сотрудничество по использованию водных и энергетических ресурсов в Центральной Азии» (1998) и «Гидроэкологические проблемы и устойчивое развитие Центральной Азии» (2000). – Бишкек: «Элита», 2001. – С. 25–34

5. Батоян, В. В. Принципы районирования территории СССР по устойчивости поверхностных вод к загрязнению при нефтедобыче: "Ландшафтно-геохимическое районирование и охрана недр" / В.В. Батоян // Вопросы географии. – М., 1983. – № 120. – С. 109–117.

6. Гаев, А. Я. О проблеме водоснабжения населения в вододефицитных районах на примере бассейна р. Урал / А. Я. Гаев, Ю. М. Балабанова, А. И. Рахимов и др. // Геология, полезные ископаемые и проблемы геоэкологии Башкортостана, Урала и сопредельных территорий: Мат. 8-ой междунар. НПК. – Уфа: Дизайн Полиграф Сервис, 2010. – С. 240–242.

7. Гаев, А. Я. О стратегии защиты водохозяйственных объектов от загрязнения / А. Я. Гаев, В. Г. Гацков, А. И. Рахимов и др. // Вузовская наука – региону: Мат. Восьмой всерос. НТК. Т. 1. – Вологда: ВоГТУ, 2010. – С. 397–398.

8. Гаев, А.Я. О состоянии и перспективах развития водного хозяйства вододефицитных районов (на примере Оренбургской области) / А.Я. Гаев, И. Н. Алферов, Ю. М. Погосян, А. И. Рахимов // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов: в 4 т. Т. III. Управление водными

ресурсами речных водосборов: тр. МНПК. – Пермь: Перм. ун-т, 2011. – С. 33–36

9. Гаев, А. Я. Перспективные способы защиты водохозяйственных объектов / А.Я. Гаев, О. Н. Нечитайло, А. И. Рахимов и др. // Экология и промышленность России. – М., 2009. – июль. – С. 23–25.

10. Гаев, А. Я. Экологическая емкость подземной гидросферы – важнейший ресурс природопользования / А. Я. Гаев, Л. А. Абукова, А. И. Рахимов и др. // Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр. Мат. X Междунар. конф. Москва – Махачкала. – М.: РУДН, 2011. – С. 230–234.

11. Олимов, М. Гидроресурсы Таджикистана: ресурсы и проблемы / М. Олимов // Вода и устойчивое развитие Центральной Азии. Мат. проектов «Региональное сотрудничество по использованию водных и энергетических ресурсов в Центральной Азии» (1998) и «Гидроэкологические проблемы и устойчивое развитие Центральной Азии» (2000). – Бишкек: Элита, 2001. – С. 46–48.

12. Рахимов, А. И. О водных ресурсах Таджикистана / А. И. Рахимов // Вестник Таджикского национального ун-та. – № 1 (49). – С. 250–252.

13. Рахимов, А. И. О гидрогеоэкологических особенностях горнорудных районов / А. И. Рахимов, С. Я. Абдурахимов // Известия АН РТ, отд. физ-мат., хим., геол. и техн наук. – 2009. – № 1(134). – С. 88–95.

14. Рахимов, А. И. История и методика гидрогеоэкологических исследований водных ресурсов Таджикистана. Изд. «Меъроч». Худжанд. 2013, 171 с.

15. Рахимов, А. И. Теоретические основы использования водных ресурсов Таджикистана и их защита. Изд. «Меъроч». Худжанд. 2014, 174 с.

16. Рахимов, А. И. О состоянии водных ресурсов Таджикистана / А. И. Рахимов // Проблемы региональной экологии. – М., 2011. – № 5. – С.139–142.

Сведения об авторах

Рахимов А. И. д.г.н., профессор

Абдурахимов С. Я. д.г.н., профессор ХГУ им. ак. Б. Гафуров, Таджикистан

UDK 551.324.43

T. MATHYS¹, M. AZIMSHOEV², E.SPATI¹, H. NAVRUZSHOEV³, CH. HILBICH¹, CH.
HAUCK¹, T. SAKS¹, J. FIDDES⁴, R. USUBALIEV⁵, A. KAYUMOV³, M. HOELZLE¹

**COMPREHENSIVE ANALYSIS OF PERMAFROST IN TAJIKISTAN:
EVALUATING GROUND ICE VOLUMES THROUGH GEOPHYSICAL FIELD
SURVEYS AND IDENTIFYING POTENTIALLY HAZARDOUS SLOPE
MOVEMENTS USING INSAR**

Correspondence: tamara.mathys@unifr.ch

¹ *Department of Geosciences, University of Fribourg, Fribourg, Switzerland*

² *Aga Khan Agency for Habitat (AKAH), Dushanbe, Tajikistan*

³ *Center for Research of Glaciers of the Academy of Sciences of the Republic of
Tajikistan, Dushanbe, Tajikistan*

⁴ *WSL Institute for Snow and Avalanche Research SLF, Davos, Switzerland*

⁵ *Central Asian Institute for Applied Geosciences (CAIAG), Bishkek, Kyrgyzstan*

Annotation. *The purpose of this work is to study the prevalence of permafrost in Tajikistan. This study examines the critical role of mountain permafrost in the context of climate change, particularly in the mountain ranges of Central Asia. Melting permafrost in these regions creates risks such as slope destabilization, rockfalls and landslides. Despite the profound impacts of climate change on local communities, mining sustainability and civil engineering in Central Asia, geophysical research in remote high mountain areas has been limited. To address this knowledge gap, our research conducted extensive geophysical field surveys using electrical resistivity tomography (ERT) and refraction seismic tomography (RST) across a variety of landforms, as well as quantitative modeling of ground ice content. The study highlights the importance of identifying and monitoring the extent of permafrost, ground ice content and potential geohazards to effectively mitigate climate change in the region.*

Key words: Tajikistan, Pamir, Zarafshan, Permafrost; ground ice content modelling, InSAR.

Introduction

In the context of climate change, mountain permafrost plays a crucial role as both a potential water reservoir and a source of geohazard impacts. The

consequences of permafrost thawing in the Central Asian Mountain ranges, including the Tien Shan and Pamir, are associated with slope destabilization, which can lead to rock falls and landslides (Baral et al., 2023). While ground temperatures in Central Asia have been monitored since the mid-1980s (e.g. Marchenko et al., 2007), geophysical studies have been notably scarce in the remote and challenging terrains of some high-mountain areas within the region. This is due to the remoteness and often difficult logistical access to perform in-situ studies in the region. Nonetheless, the impacts of climate change in Central Asia are profound, affecting local communities, the sustainable development of the mining industry, and engineering structures (Barandun et al., 2020). It is crucial to identify and continuously monitor permafrost distribution, ground ice contents, and potentially hazardous moving landforms in the region to mitigate these impacts effectively.

To address the scarcity of data on permafrost distribution and ground ice content in Central Asia, our research involved extensive geophysical field surveys including Electrical Resistivity Tomography (ERT) and Refraction Seismic Tomography (RST) in the Pamir, Pamir Alay, and Tien Shan. These surveys encompassed diverse landforms such as rock glaciers, talus slopes, moraines, and (vegetated) sediments. In addition to the qualitative interpretation of the individual geophysical profiles regarding permafrost presence or absence, we quantitatively modelled ground ice contents for a total of 22 profiles across Central Asia by combining datasets from both methods using a Petrophysical Joint Inversion (PJI) approach (Wagner et al., 2019).

Study Sites

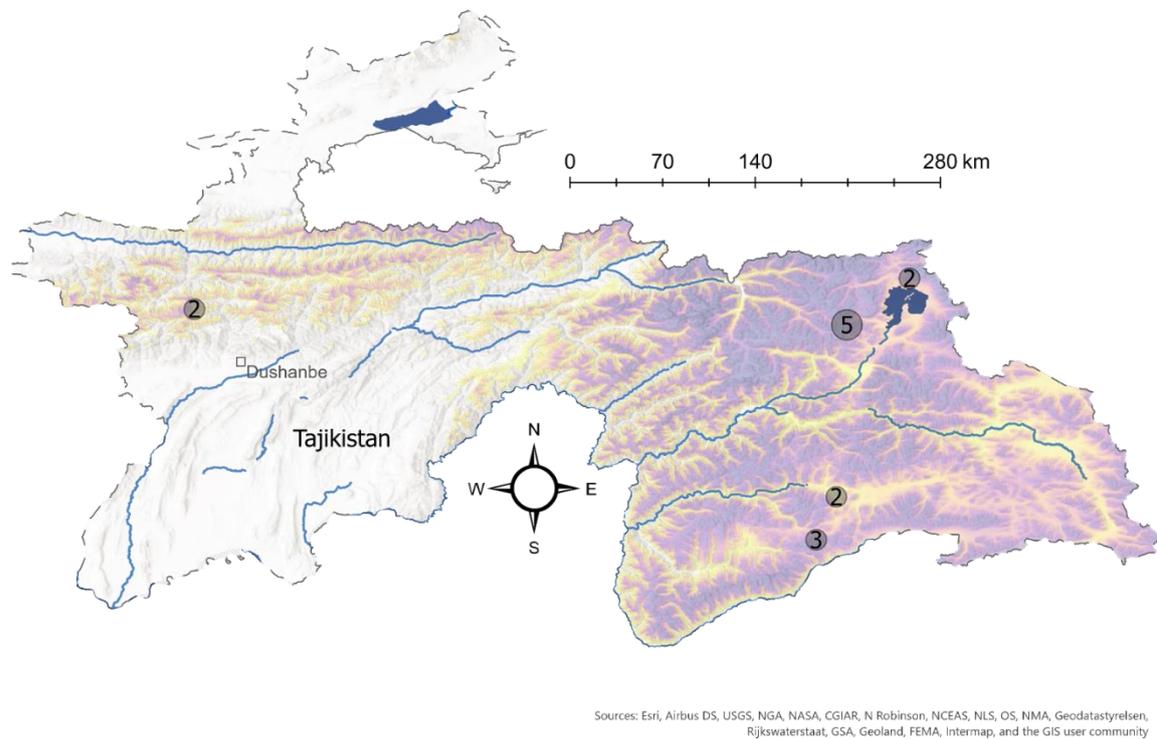


Figure 1: Map showing the study sites visited as well as the PZI (Permafrost Zonation Index (Gruber, 2012)).

Figure 1 shows the sites visited for the geophysical investigations, which were carried out at a total of 5 sites across Tajikistan. The background color is the so-called Permafrost Zonation Index developed by Gruber (2012), which indicates the probability (high = purple, low = yellow) for permafrost. The grey bullets indicate the site locations and number of profiles carried out at each location.

Results

Presented below are select outcomes derived from ground ice content modeling across various landforms. The figures, arranged from top left to bottom right, consistently feature RST results (real in-situ measurements), ERT results (real in-situ measurements), modeled ice content (%), modeled water content (%), modeled air content (%), and modeled rock content (%). Each set

of results is complemented by accompanying images illustrating the profile location.

In Figure 2, the modeling outcomes pertain to a profile situated on fine-grained sediments.

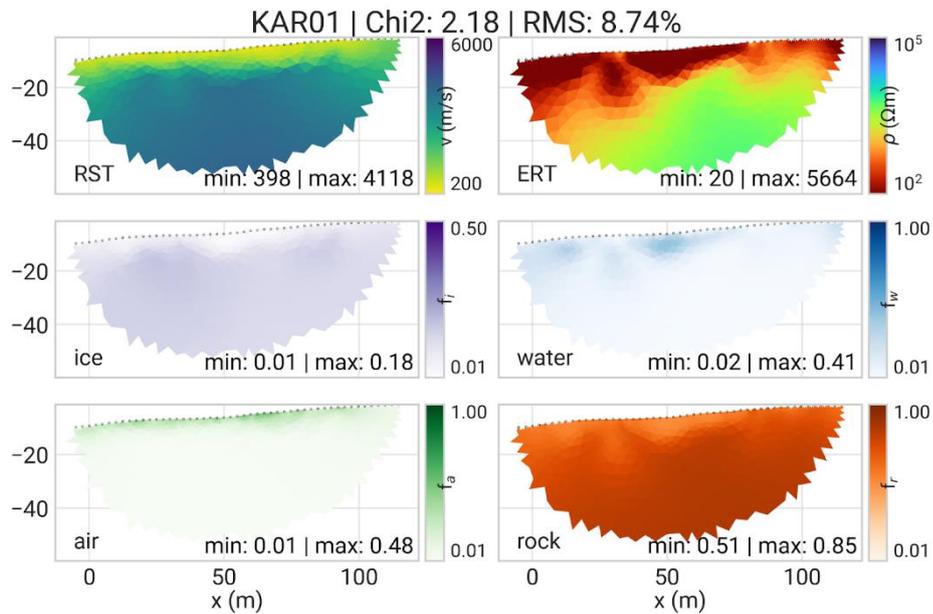


Figure 2: Pictures of the location of KAR01 profile, close to Karakul lake. Figure 3: PJI results for a profile located on fine-grained sediments. Figure 1: Relationship between the mean bare-ice albedo of Abramov and the mean incoming longwave radiation recorded in the 24h preceding albedo measurements for discontinuous dates of July, August, and September 2013 to 2022.

Due to the relatively restricted pore space in this location, the overall ice content remains modest, reaching a maximum of 18%. These findings align

with outcomes from analogous profiles on comparable substrates, where the modeling was corroborated through borehole validation. Figure 3 provides visual documentation from the field visit, enhancing the contextual understanding of the presented modeling results.

The findings from our fieldwork and modeling efforts are illustrated in the following image (Figure 4), focusing on a rock glacier in proximity to the Zulmart glacier. In this location, the ice content is notably higher, reaching a maximum of approximately 48%, which is typical for rock glaciers.

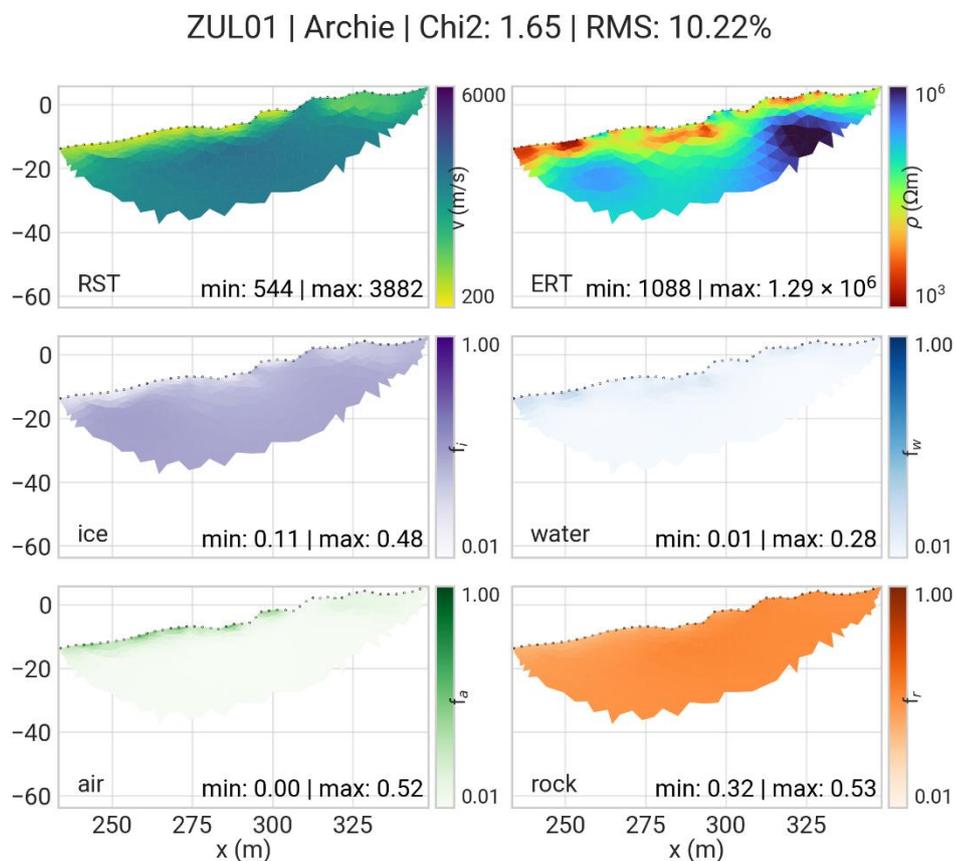


Figure 5: PJI results from a profile located on a rock glacier.



Figure 4: Pictures from the profile on a rock glacier close to Zulmart glacier

Illustrated in Figure 6 is an overview of ground ice contents computed for various landforms. The visualization emphasizes that ice content exhibits greater specificity to landforms rather than individual sites.

While variations from one site to another are relatively minor, distinct clusters emerge based on landforms, underscoring the significance of considering broader geological features in understanding ground ice distribution.

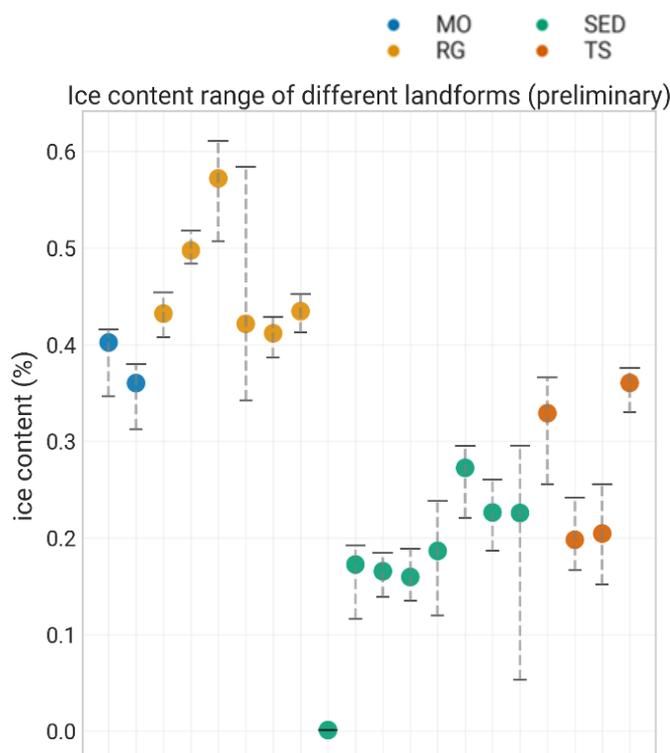


Figure 6: Permafrost ground ice contents modelled for different landforms.

InSAR

As a first step, we implement a threshold based InSAR method, building upon the work of Barboux et al. (2014) and Bertone and Barboux (2020). This method utilizes unwrapped interferograms to classify moving landforms into distinct deformation or velocity classes. This classification provides a large-scale overview, enabling the identification of areas experiencing significant ground movement. To further enhance the precision and reliability of our

analysis, we incorporate the Small Baseline Subset (SBAS) InSAR technique (e.g. Du et al., 2021) in the second step. SBAS minimizes the impact of atmospheric disturbances and temporal decorrelation, leading to higher coherence and improved interferogram quality. However, it is important to note that areas exhibiting rapid movement, surpassing half the wavelength of the radar signal emitted by the satellite (e.g., Sentinel-1 in our case), result in a decorrelated signal when using SBAS. These high-velocity regions, clearly visible in the first, threshold-based approach, require careful consideration and validation in our overall interpretation.

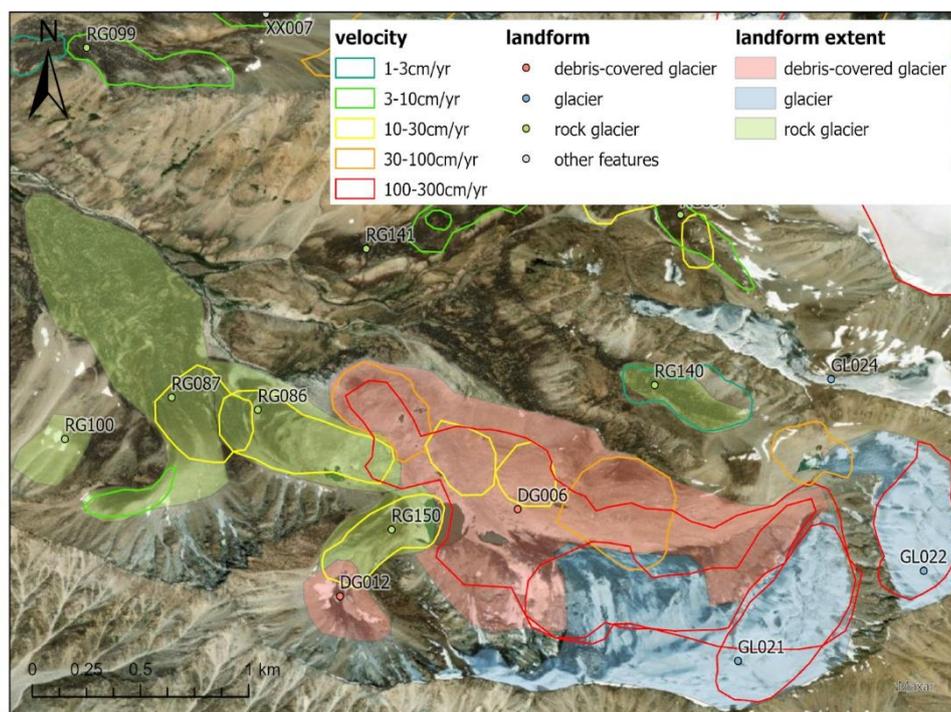


Figure 7: Complexity of moving areas: one landform can have multiple areas with different velocities.

Concerning InSAR results, we have meticulously mapped more than 600 dynamic landforms and slopes within the Gunt and Roshtqala catchments (Figure 7). The moving areas have been systematically categorized into distinct

velocity classes, providing a comprehensive understanding of the varying rates of movement across the landscape.

Figure 8 illustrates the complexity of such movements, as one landform, in this case a glacier – rock glacier complex, can have various areas of velocities.

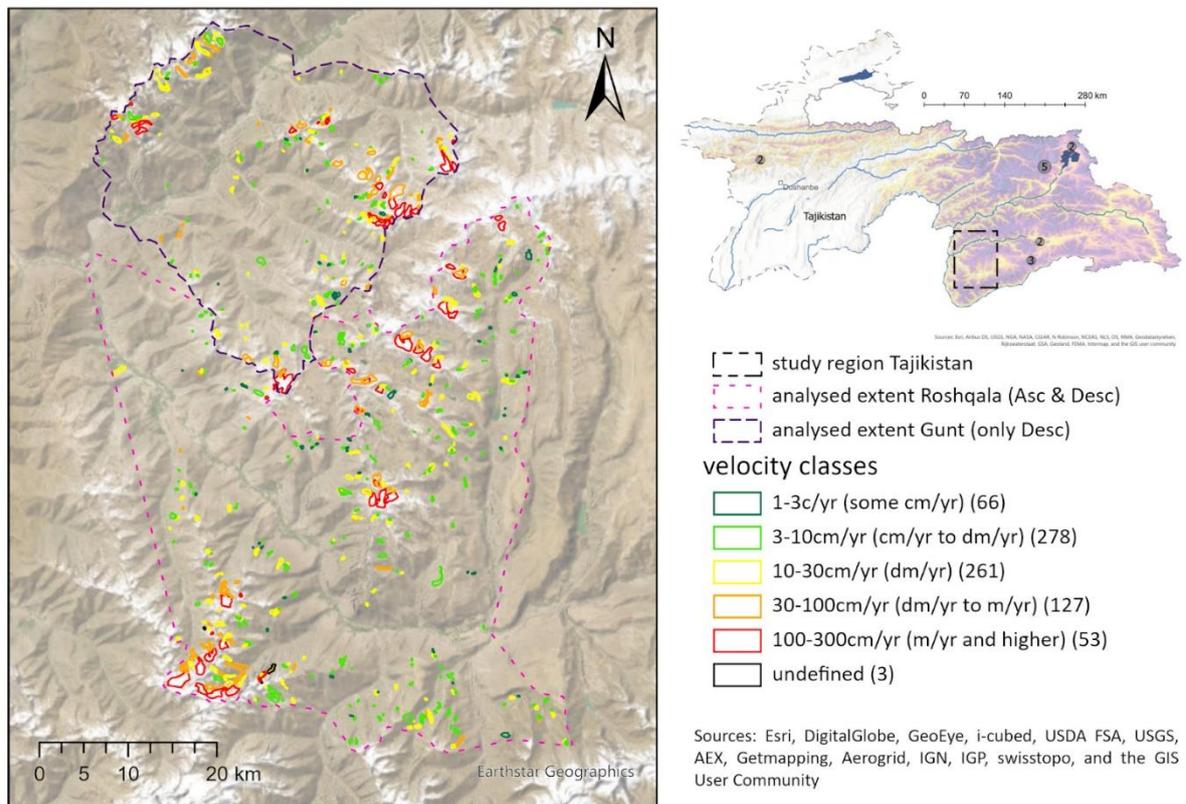


Figure 8: Overview of moving areas mapped using SAR satellite images (InSAR)

Conclusions

Our findings highlight widespread permafrost occurrences at all study sites, indicating potentially substantial ground ice volumes beyond rock glaciers. This underscores the critical importance of permafrost research in the region, particularly for its hydrological significance. Considering these results, our study contributes to a more comprehensive understanding of permafrost dynamics in Central Asia and underscores the need for continuous monitoring to inform sustainable development and hazard mitigation strategies. Furthermore, our research integrates InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar) technology to identify potential hazard hotspots, adding a

critical dimension to our assessment of permafrost-related risks in Tajikistan by identifying moving landforms and slopes that could impact local settlements.

References:

1. Baral, P., Allen, S., Steiner, J. F., Gurung, T. R., & McDowell, G. (2023). Climate change impacts and adaptation to permafrost change in High Mountain Asia: a comprehensive review. *Environmental Research Letters*, *18*(9), 093005. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ACF1B4>
2. Barandun, M., Fiddes, J., Scherler, M., Mathys, T., Saks, T., Petrakov, D., & Hoelzle, M. (2020). The state and future of the cryosphere in Central Asia. *Water Security*, *11*, 100072. <https://doi.org/10.1016/j.wasec.2020.100072>
3. Barboux, C., Delaloye, R., & Lambiel, C. (2014). Inventorying slope movements in an Alpine environment using DInSAR. *Earth Surface Processes and Landforms*, *39*(15), 2087–2099. <https://doi.org/10.1002/esp.3603>
4. Bertone, A., & Barboux, C. (2020). *Rock glacier inventory using InSAR (kinematic approach)*. <https://www3.unifr.ch/geo/geomorphology/en/research/ipa-action-group-rock-glacier>
5. Du, Q., Li, G., Chen, D., Zhou, Y., Qi, S., Wu, G., Chai, M., Tang, L., Jia, H., & Peng, W. (2021). SBAS-InSAR-Based Analysis of Surface Deformation in the Eastern Tianshan Mountains, China. *Frontiers in Earth Science*, *9*. <https://doi.org/10.3389/feart.2021.729454>
6. Gruber, S. (2012). Derivation and analysis of a high-resolution estimate of global permafrost zonation. *The Cryosphere*, *6*(1), 221–233. <https://doi.org/10.5194/tc-6-221-2012>
7. Marchenko, S. S., Gorbunov, A. P., & Romanovsky, V. E. (2007). Permafrost warming in the Tien Shan Mountains, Central Asia. *Global and Planetary Change*, *56*(3–4), 311–327. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2006.07.023>

Т. МАТИС, М. АЗИМШОЕВ, Е. СПЕТИ, Х. Д. НАВРУЗШОЕВ, К. ХИЛБИЧ, К. ХАК, Т. САКС,
ДЖ. ФИДДЕС, А. ШАРШЕБАЕВ, С. БЕЛЕКОВ, Э. АЗИСОВ, Р. КЕНЖЕБАЕВ, М. БОРИСОВ, Р.
УСУБАЛИЕВ, Т. МУСАЕВ, Ж. БЕКТУРСУНОВ, А. К. КАЮМОВ, М. ХЁЛЗЛЕ

КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ В ТАДЖИКИСТАНЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ InSAR

Аннотация. Целью данной работы является изучение распространенности вечной мерзлоты в Таджикистане. В этом исследовании рассматривается решающая роль горной вечной мерзлоты в контексте изменения климата, особенно в горных хребтах Таджикистана. Таяние вечной мерзлоты в этих регионах создает такие риски, как дестабилизация склонов, камнепады и оползни. Несмотря на глубокое воздействие изменения климата на местные сообщества, устойчивость горнодобывающей промышленности и гражданское строительство в Таджикистане, геофизические исследования в отдаленных высокогорных районах были ограничены. Чтобы восполнить этот пробел в знаниях, в ходе наших исследований были проведены обширные геофизические полевые исследования с использованием электротомографии (ERT) и рефракционной сейсмической томографии (RST) в различных формах рельефа, а также количественное моделирование содержания подземного льда. В исследовании подчеркивается важность выявления и мониторинга масштабов вечной мерзлоты, содержания подземного льда и потенциальных геологических опасностей для эффективного смягчения последствий изменения климата в регионе.

Ключевые слова: Таджикистан, Памир, Зарафшан, вечная мерзлота; моделирование содержания подземного льда, InSAR.

Т. МАТИС, М. АЗИМШОЕВ, Е. СПЕТИ, Х. Д. НАВРУЗШОЕВ, К. ХИЛБИЧ, К. ХАК, Т. САКС,
ДЖ. ФИДДЕС, А. ШАРШЕБАЕВ, С. БЕЛЕКОВ, Э. АЗИСОВ, Р. КЕНЖЕБАЕВ, М. БОРИСОВ, Р.
УСУБАЛИЕВ, Т. МУСАЕВ, Ж. БЕКТУРСУНОВ, А. Қ. ҚАЮМОВ, М. ХЁЛЗЛЕ

ТАҲЛИЛИ МАҶМУИИ ЯХБАНДИИ ДОИМӢ ДАР ТОҶИКИСТОН БО ИСТИФОДАИ INSAR

Фишурда. Ҳадафи ин омӯзиш паҳншавии яхбандии абадӣ дар Тоҷикистон аст. Таҳқиқоти мазкур нақши муҳими яхбандии абадии кӯҳиро дар шароити тағйирёбии иқлим, маҳсусан дар қаторкӯҳҳои Тоҷикистон баррасӣ мекунад. Обшавии яхбандии абадӣ дар ин минтақаҳо хатарҳоеро ба мисли ноором шудани нишебиҳо, рехтани сангҳо ва ярҷо ба вучуд меорад. Сарфи назар аз таъсири амиқи тағйирёбии иқлим ба ҷамоатҳои маҳаллӣ, устувориҳои истихроҷи маъдан ва муҳандисии шахрвандӣ дар Тоҷикистон, таҳқиқоти геофизикӣ дар минтақаҳои дурдасти баландкӯҳ маҳдуд буд. Барои бартараф кардани ин ҳолат, таҳқиқоти мо таҳқиқоти васеи геофизикии саҳроиро бо истифода аз томографияи электрикӣ (ERT) ва томографияи сейсмикии рефраксия (RST) дар шаклҳои гуногуни замин, инчунин моделсозии миқдорӣ таркиби яхи замин анҷом дод. Таҳқиқот аҳаммияти муайян ва мониторинги сатҳи яхбандии абадӣ, таркиби яхи замин ва хатарҳои эҳтимолии географиро барои самаранок коҳиш додани тағйирёбии иқлим дар минтақа таъкид мекунад.

Калимаҳои калидӣ: Тоҷикистон, Помир, Зарафшон, яхбандии абадӣ; моделсозии яхбандии зеризаминӣ, InSAR.

УДК 620.93 + 551.324.43

А. ШАРИФОВ, У. М. МИРСАИДОВ

**РАЗВИТИЕ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ ЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ
СОХРАНЕНИЯ ЛЕДНИКОВ**

Институт химии имени В. И. Никитина НАНТ

***Аннотация.** В статье анализируется эффективность внедрения водородной энергетики при получении водорода из угля и его использования для процесса декарбонизации производства цементного клинкера с попутным получением аммиака, карбамида и компонентов состава угля.*

Ключевые слова: водородная энергетика, уголь, выбросы газов, таяние ледников, цементный клинкер, аммиак, карбамид, безотходное производство.

Бурная индустриализация экономики многих стран мира, которая произошла благодаря широкому использованию ископаемого топлива (уголь, нефть и нефтепродукты, природный газ и др.), наряду с положительным эффектом в виде повышения уровня жизни людей в этих странах, также оказала отрицательное влияние на состояние природы потеплением климата, приводящего к таянию части ледников, снижению уровня рек и морей и других негативных природных катаклизмов. Наглядным примером природного катаклизма для наших регионов является опустошение Аральского моря, которое уже более 30 лет стараются остановить осуществлением разных программ страны Центральной Азии. К сожалению, в настоящий момент остановить опустошение Аральского моря не удастся, поскольку не удастся остановить процесс интенсивного таяния ледников, которые являются потенциальным истоком рек, обеспечивающих данное море водой.

Изменение климата в основном произошло от выброса в атмосферу газов CO_2 , CO , N_xO_y , SO_2 , P_2O_5 и др., образующихся при сжигании ископаемого топлива. Можно считать, что бурная индустриализация экономики развитых стран в основном произошла в результате использования «грязных» технологий переработки и сжигания ископаемого топлива, которые наряду с положительным эффектом в виде выпуска необходимых для жизнеобеспечения людей материалов и продукции, имеют также отрицательный эффект в виде выброса газов и других отходов, загрязняющих не только атмосферу, но и землю и водных источников вокруг мест их происхождения.

При дальнейшем развитии промышленности и энергетики стран мира с использованием традиционных технологий переработки и сжигания ископаемого топлива, недалёко время возникновения всеобщей экологической трагедии для многих стран мира, поскольку атмосфера не имеет государственных границ, не допускающих распространения газов в ней. Понимая данную ситуацию, ещё в 1992 году ведущие страны мира приняли Киотский протокол об изменении климата, который в 2015 году был дополнен Парижским соглашением по климату [1]. Оба эти документа заложили основу для ограничения использования ископаемого топлива по традиционным технологиям и стали основополагающим соглашением мирового сообщества для развития зеленой энергетики в странах мира.

Как известно, зеленая энергетика, к которой в основном относятся *гидроэнергетика, атомная энергетика, энергия солнца и ветра*, не имеет отходов и имеет возобновляемый источник производства. К категории зеленой энергетики также относится и *«водородная энергетика»*, которая предусматривает получение H_2 из воды методом электролиза и из органических веществ конверсионными способами, с дальнейшим его сжиганием по реакции



где Q - тепловой эффект реакции сжигания водорода, характеризует его удельную теплотворность. Как видно, результатом реакции (1) является получение определённого количества тепла (энергии) и образование воды как продукта. Поэтому, водородная энергетика, также и другие виды зеленой энергетике, не имеет вредных выбросов в атмосферу и не загрязняет её.

Также к положительным качествам «водородной энергетике» ещё относятся следующие факторы: неограниченный и возобновляемый источник сырья (вода и органическое сырьё); высокая удельная теплотворность водорода, оцениваемая в 144 мДж/кг, значительно превосходящей теплотворности соответственно угля и природного газа; водород легкий химический элемент, его плотность всего 0,0897 г/см³, для своего хранения и использования, которые обычно осуществляются при высоких давлениях, требует меньший объём оборудования, чем при хранении природного газа или жидкого топлива. Разумеется, что при такой низкой плотности H_2 , уменьшаются расходы материалов для оборудования, однако используемые материалы должны быть с высокими коэффициентами конструктивного качества и стойкими при рабочих давлениях использования водорода; водород входит в состав химических веществ разных классов (кислоты, щелочи, гидриды и т.п.), поэтому сфера его хранения и использования очень обширная и многофункциональная, позволяющая использовать H_2 в качестве зеленого энергоносителя не только в чистом виде, но и в виде химических соединений.

Эти факторы способствует «водородной энергетике» стать ведущей отраслью для создания зеленой экономики Таджикистана, который как по природному потенциалу с огромным

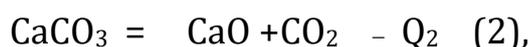
гидроэнергетическим запасам, так и по производству энергии, относится к так называемым «зелёным» странам мира, поскольку более 98 % энергии производится гидроэнергостанциями, количество выбрасываемого CO₂ в год меньше 1 т на душу населения и общая доля страны в мировом масштабе составляет до $3 \cdot 10^{-4}$ % [2]. И в перспективе Таджикистан предусматривает сохранение указанного статуса благодаря строительству Рагунской и ряда планируемых ГЭС, принятая Правительством страны стратегия создания «зеленой экономики» [3] нацелена на это. Однако, возрастание объёма добычи и использования угля, строительства предприятий в металлургических, химических, энергетических и строительных отраслях экономики, где уголь будет основным энергоносителем, в перспективе может менять зелёный статус страны в мировом экологическом реестре. Чтобы этого не допустить и создать зелёную экономику, наряду с развитием гидроэнергетики следует развивать также «водородную энергетику» и эффективно использовать солнечную энергию. Энергообеспечение многих технологических процессах производства материалов не всегда возможно только использованием электроэнергии, поэтому ещё потребуется использование жидких, твердых и газовых энергоносителей. Использование водорода в качестве зелёного энергоносителя в силу его свойства возможно в газообразном, жидком и твердом состоянии.

В работах [4,5] нами предложена концепция развития водородной энергетики в Таджикистане и анализированы ресурсы и потенциальные возможности страны для эффективного её создания в разных отраслях экономики. Здесь рассматриваем аспекты развития водородной энергетики исходя из проблем предотвращения природных катаклизмов и сохранения ледников.

Роль водородной энергетики в сохранении ледников

В Таджикистане принята четвёртая стратегия развития экономики, которая базируется на интенсивном росте промышленности по производству разных материалов, в том числе и для экспорта в другие страны. Развивается строительство промышленных и гражданских объектов, бурными темпами расширяется жилищное, административное и промышленное строительство, наглядным примером является строительное обновление города Душанбе и регионов страны. Разумеется, что это развитие невозможно без развития производства материалов: строительных, металлургических, энергетических и т.д. И любое производство материалов требует затраты энергии, причём по современным требованиям чистой энергии без выбросов и отходов, что могут обеспечить только гидро- и водородная энергетика.

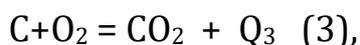
Эффективность водородной энергетики можно оценить на примере её внедрения в производстве цемента, производство которого в последние годы в Таджикистане существенно возросло, в стране уже действуют 15 цементных заводов и цемент стал также экспортным материалом. Это хороший признак развития экономики страны. Но в любом хорошем признаке имеется обратная сторона медали, в производстве цемента это образование диоксида углерода CO_2 не только при сжигании угля или других ископаемых видов топлива, но и при разложении известняка состава сырья по реакции



где Q_2 – тепло эндотермической реакции разложения известняка, для покрытия которого сжигают топливо.

Из реакции (2) следует, что при разложении 1 кг чистого известняка образуется 440 г CO_2 . При использовании в качестве

энергоносителя уголь или другое ископаемое топливо также образуется CO_2 по реакции



где Q_3 – тепло горения углерода.

По реакции (3) при горении 1 кг С образуется 3,67 кг CO_2 . По данным [6] для производство 1 т цементного клинкёра в среднем расходуется 1,57 т смешанного сырья из известняка, глины и магнетита Fe_3O_4 , а расход условного топлива варьируется в пределах 60...130 кг в зависимости от влажности сырья. Обычно содержание известняка в сырье для получения клинкёра разных минералогических составов варьируется в пределах 75...85%. Если принять среднее содержание известняка 80 % и среднего расхода топлива 100 кг/т, то при получение 1 т цементного клинкёра попутно образуется $552,64 + 367 = 919,64$ кг CO_2 . В зависимости от мощности производства цемента не трудно вычислить годовое количество образующегося CO_2 .

Современные цементные заводы строятся по так называемому «сухому способу» производства клинкёра, где производственные расходы, в том числе и на топливо, значительно меньше, чем для традиционных заводов, работающих по «мокрому способу». Заводы оснащены системами очистки выбрасываемых газов и цементной пыли, но эти системы не улавливают CO_2 и вышеуказанных газов, которые также как и раньше выбрасываются в атмосферу. Внедрение водородной энергетики в производстве цемента, а также в подобных энергоёмких производствах в энергетической, металлургической, химической и других отраслях экономики, в корне декарбонируют их, избавить от выбросов газов, снижает себестоимость производимого материала. Все эти положительные аспекты водородной энергетики способствуют предотвращению дальнейшего таяния ледников в горных регионах

Центральной Азии. Такую перспективу можно наглядно показать на примере производства цемента с использованием технологии водородной энергетики.

Декарбонизация процесса получения цементного клинкёра

Производство цемента состоит из стадий добычи и подготовки сырья, обжига сырья в обжигательных печах для получения клинкёра и совместного помола клинкёра с природным гипсом до частиц размером меньше 0,08мм. Первая и третья стадии являются механическими, их энергоснабжение обеспечивается электрическим. Вторая стадия физико-химическая с протеканием тепло-массообменных процессов превращения сырья в клинкёр при температурах до 1450°C, её теплообеспечение в основном осуществляется сжиганием ископаемого топлива. Заводы Таджикистана в качестве топлива используют уголь.

Уголь многокомпонентное сырьё, его использование способом прямого сжигания является грязным технологическим процессом, что можно понять по вышеприведённым данным. В то же время, уголь является ценным сырьём для получения не только водорода, но и всех компонентов его состава в качестве полезного продукта. Для этого его следует переработать по комплексным безотходным технологиям. Нами предложены такие технологии [6-9], основная суть которых выражается в том, что первоначально при температурах до 500–550°C из состава угля выделяют всех летучих и смолистых веществ и при обратном их охлаждении каждый компонент смеси при температуре его конденсации превращают в жидкость, собираемой в отдельности. При дальнейшем нагревании до 700°C смесь углерода С и минеральных компонентов пластифицируется, её при температурах от 900°C до 1250–1300°C газифицируют веществами–окислителями (H₂O, O₂, воздух, их смеси) в строго эквивалентном количестве по отношению к С с получением

генераторного газа определённого состава. Тепло генераторного газа утилизируется для нагрева угля и обеспечения эндотермических процессов газификации углерода в газогенераторе, а также для получения водяного пара, используемого для окисления углерода по реакции



где Q_4 – тепловой эффект реакции газификации углерода.

При эквивалентном соотношении $C:H_2O_{\text{пар}}$ образуется генераторный газ также эквивалентного состава $CO:H_2=1:1$, после охлаждения генераторного газа до температурах $350-360^\circ\text{C}$ конвертируют CO его состава при соотношении $CO:H_2O=1:1$ при температурах $380-400^\circ\text{C}$ на катализаторах. Конвертированный газ будет иметь состав $H_2:CO_2=2:1$. После охлаждения из его состава выделяют CO_2 абсорбцией растворами щелочей, оставшийся H_2 можно использовать как безотходный энергоноситель или чистый химический реагент. Теплотворность водорода проявляется при его сжигание по реакции (1).

Золу угля, состоящая из оксидов CaO , SiO_2 , Al_2O_3 и др., можно использовать в качестве сырья для разделения на отдельные компоненты, или как минеральную добавку к цементам и бетонам, или иной цели по функциональной пригодности.

На рис.1. показано сравнение обобщённых технологических схем производство цементного клинкёра по традиционной технологии (а) и по предлагаемой с использованием элементов водородной энергетики (б).

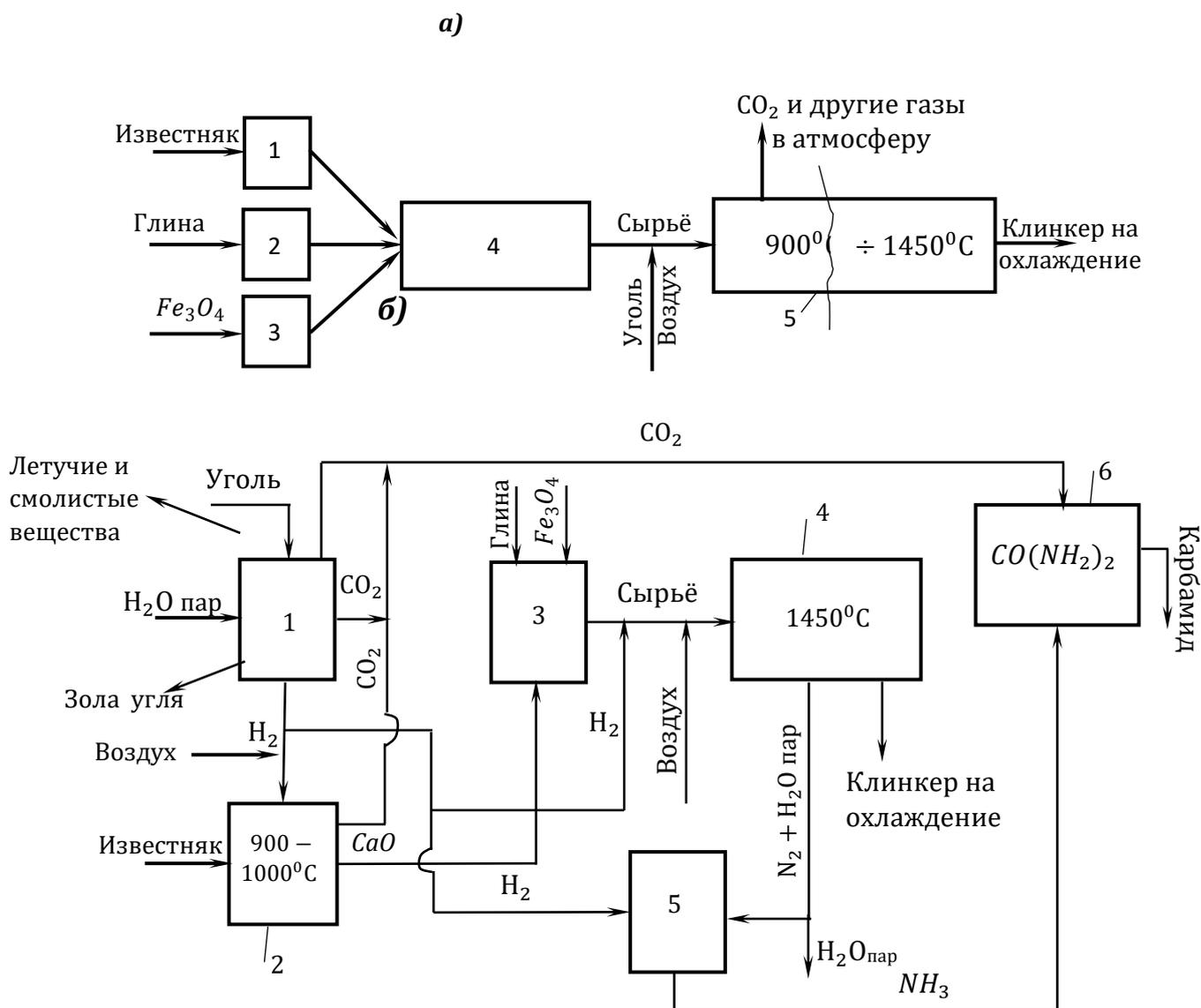


Рис.1. Обобщённые схемы производства цементного клинкера по традиционной (а) и предлагаемой (б) технологии: **а):** 1,2,3-дозаторы компонентов сырья цементного клинкера; 4-смеситель компонентов сырья; 5-печь обжига клинкера; **б):** 1-узел газификации угля для получения H_2 и CO_2 , летучих и смолистых компонентов и золы угля; 2-реактор разложения известняка; 3- смеситель извести, глины и магнетита; 4-печь обжига клинкера; 5-реактор синтеза аммиака; 6-реактор синтеза карбамида.

В традиционной технологии получения клинкера **(а)** отдозированные количества компонентов сырья после смешивания непосредственно подаются на вход в печи обжига, куда также подаётся ископаемое топливо (в данном случае уголь), который сжигается воздухом. В первой части печи известняк разлагается по реакции (2) и

CO₂ совместно с другими газами, в том числе и азотом состава воздуха, после снятия части их тепла выбрасывается в атмосферу. Из нижней части печи, цементный клинкер, обожженный при температурах до 1450°C, после отдачи основного количества своего тепла, выводится на охлаждение.

В предложенной схеме декарбонизации производства клинкера **(б)** в производственном узле 1 уголь газифицируется согласно технологиям [7-9]. Основными продуктами газификации угля будут H₂ и CO₂, также летучие и смолистые вещества и зола состава угля, которые утилизируются по назначениям. Известняк в отдельности разлагается в реакторе 2 при температурах 900-1000°C путём сжигания по реакции (1) водорода, подающего из узла 1, эквивалентным количеством кислорода или соответствующим количеством воздуха. Для незагрязнения выделяемого CO₂ нагрев реактора 2 осуществляется через стенку его корпуса. Выделенный при разложении известняка CO₂ смешивается с CO₂, образующегося при газификации угля, а известь CaO из реактора 2 подаётся в смеситель 3 для смешивания с глиной и магнетитом, образующаяся сырьевая смесь цементного клинкера направляется на обжиг в печи 4. Нагрев печи также осуществляется сжиганием водорода кислородом воздуха. Газовая смесь, образующаяся в печи, в основном состоит из азота и аргона состава воздуха и водяного пара от сжигания водорода, она после вывода из печи охлаждается при производстве тепла, из её состава выделяется водяной конденсат, азот её состава в реакторе 5 используется для синтеза аммиака. Аммиак из реактора 5 и CO₂ из узла 1 и реактора 2 используются для синтеза карбамида в реакторе 6.

Количественная оценка получения водорода из угля и декарбонизации процесса получения цементного клинкёра

Эффективность водородной энергетики в производстве цементного клинкёра оценена также по показателям количеств образующегося водорода из определённого количества угля и сравнением количеств теплотворностей угля и H_2 . В качестве примера принять состав угля Фон-Ягнобского месторождения с содержанием углерода 81%. По технологии [7-9] после выделения из состава угля летучих и смолистых компонентов пластифицированный углерод, находящийся в смеси с минеральными компонентами состава угля, газифицируется водяным паром и образующийся CO дополнительно конвертируется до CO_2 . В результате для газификации 810 кг C и конверсии образующегося CO в общем расходуется 2430 кг $H_2O_{пар}$ и в итоге образуются 270 кг H_2 и 2970 кг CO_2 . При удельной теплотворности каменного угля 27 мДж/кг, теплотворность водорода 144 мДж/кг [10]. Общая теплотворность 1 т угля 27000 мДж, а общая теплотворность 270 кг H_2 , полученного из 1 т угля, будет 39150 мДж. Обычно в производстве цементного клинкёра по сухому способу удельный расход тепла варьируется от 2900 до 3750 кДж/кг [11], в среднем примем 3325 кДж/кг. Тогда сжиганием 1 т угля можно получить 8,12 т цементного клинкёра при наличии выбросов CO_2 и других газов в атмосферу. В то же время, при использовании 270 кг H_2 , полученного из 1 т угля, количество получаемого клинкёра будет 11,77 т, т.е. на 45 % больше при полном отсутствии выброса газов.

Из 2970 кг CO_2 , образующего при газификации 1000 кг угля, без учёта CO_2 , выделяемого при разложении известняка, можно получить 4050 кг $CO(NH_2)_2$. Следует отметить, что CO_2 используется не только в производстве карбамида, но и в производствах всех карбонатных соединений, например с едким натрием можно получить соду. Поскольку водород будет использован и для производства аммиака в производстве

карбамида, то сбалансированные количества получаемых материалов (цементный клинкёр, аммиак, карбамид и др.) будут определяться на основе материально-тепловых расчётов всей технологической схемы Рис.1, (б).

Таким образом, согласно схеме (б), одновременно можно получать водород, аммиак, карбамид, цементный клинкёр, золу угля, летучие и смолистые компоненты состава угля, водяной пар, водяной конденсат. Также тепло отдельных стадий схемы будет использовано на других стадиях или для нужд внешних потребителей. Главное, производства газификации угля и получения цементного клинкёра не имеют выбросов CO_2 и других газов в атмосферу, также сокращаются объёмы оборудования производства клинкёра, в первую очередь размеры печи, балансируется теплообеспечение технологических процессов использованием тепла одних стадий для потребностей других. Появится возможность организовать производства многих материалов в пределах одного предприятия, что благоприятно влияет на развитие экономического состояния регионов страны.

Заключение

Вышеприведённые данные свидетельствует, что развитие цементного производства с внедрением водородной энергетики в нем декарбонизирует процесс обжига цементного клинкёра и способствует использованию всего количества CO_2 , выделяемого из состава известняка и при сжигании угля, в производстве карбамида и других карбонатсодержащих веществ. Тем самым утилизируются многомиллионные тонны выбросов CO_2 цементных заводов, при этом не только устраняется угроза таяния ледников под их влиянием, но появится возможность дальнейшего расширения цементного

производства и организации производства аммиака, карбамида и других материалов с использованием угля в качестве ценного сырья.

Литература

1. Киотский Протокол к Рамочной конвенции ООН об изменении климата, 1992, Парижское соглашение по климату 12.12.2015 /CNN Cable News Network, Tumer Broadcaising System Inc// Desember, 12.2015.
2. Таджикистан: миллиард долларов на борьбу с CO₂ /<https://livingasia.online>.
3. Стратегия развития «зелёной» экономики в Республике Таджикистан на 2023–2037 годы (Приложение 1 к постановлению Правительство Республики Таджикистан от 30 октября 2022 года)–http://www.adlia.tj^show_doc.
4. Шарифов А., Мирсаидов У.М. Концепция развития водородной энергетики в Таджикистане. - Доклады НАН Таджикистана, 2023, том 66, №5-6.-С.337-343.
5. Шарифов А., Мирсаидов У.М., Муродиён А., Шодмонова М.А. Перспективы развития водородной энергетики в Таджикистане.- Сборник материалов XV111 Нумановского чтения «Развитие современной химии и её теоретические и практические аспекты», г.Душанбе, 18 10.2023.- С.222-224.
6. Dr.Volker Hoenig, Energy in Resources Efficiency in Cement Industry.- Industrial Techologies.ECRA, June, 2012.-12p.
7. Патенты РТ № 974 (19.06.2018); № 1051 (16.05.2019); №1415 (18.05.2023); Патент Евразии № 037398 (24.04.2021), Способы газификации угля для производства тепла и химических веществ.
8. Шарифов, А., Гайбуллаева З.Х., Насимов Г.Т., Безотходная технология газификации угля для получения тепла и химических веществ.–Горный журнал, 2022, №9, С.134–139.
9. Гайбуллаева, З. Х., Гадоев Т. Х., Асроров Б. И., Бахриддинзода Ш.Б., Шарифов А. Ресурсосберегающая технология переработки угля месторождения Фон–Ягноб.–Доклады НАНТ, 2023, т.66, №3–4, с.230–235.
10. Гельфанд Б. Е., Попов О. Е., Гайванов Б. Б. Водород, параметры горения и взрыва.-М.: Физматлит, 2008,-288с.
- 11/ <http://prostroyamat.ru/sposoby-proizvodstva-tsementnogo-klinkera>.

А. ШАРИФОВ, У. М. МИРСАИДОВ

**РАВНАҚИ ЭНЕРГЕТИКАИ ГИДРОГЕНӢ РОҶИ ФОИДАОВАРИ УСТУВОРИИ
ПИРЯХҲО**

Институти химияи ба номи В. И. Никитини АМИТ

Дар мақола фоидаовари чорӣ намудани энергетикаи гидрогенӣ барои аз ангишт ҳосил намудани гидроген ва истифода бурдани он дар раванди бекарбон гардонидани истеҳсолоти клинкёри сементӣ ва ҳамроҳ ҳосил намудани аммиак, карбамид ва маҳсулоти таркиби ангишт асоснок карда шудааст.

Калидвожаҳо: энергетикаи гидрогенӣ, ангишт, ихроҷи газҳо, обшавии пиряхҳо, клинкёри семент, аммиак, карбамид, истеҳсолоти бепартов.

A. SHARIFOV, U. M. MIRSAIDOV

**THE DEVELOPMENT OF HYDROGEN ENERGY - AN EFFECTIVE WAY TO PRESERVE
GLACIERS**

Institute of Chemistry named after V.I. Nikitin of the NAS Tajikistan

The article analyzes the effectivity of introducing hydrogen energy in the production of hydrogen from coal and its use for the decarbonization process, the production of cement clinker with the associated production of ammonia, urea and coal composition components.

Key words: hydrogen energy, coal, gas emissions, melting of glaciers, cement clinker, ammonia, urea, waste-free production.

Сведения об авторах:

Шарифов Абдумумин-доктор технических наук, профессор, зав.отделом «Водородная энергетика» Института химии им.В. И. Никитина НАНТ, E-mail: sharifov49@mail.ru.

Мирсаидов Улмас Мирсаидович - доктор химических наук, профессор, академик НАН Таджикистана, главный научный сотрудник Агентства по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности НАН Таджикистана, E-mail: m.ulmas@nrta.tj.

UDK 551.324.43

M. BARANDUN¹, S. ATANOV¹, H. NAVRUZSHOEV², KH. KABUTOV², A.
HALIMOV², F. VOSIDOV², T. MATHYS¹, E. MATTEA¹, J. FIDDES³, A. SMIRNOV⁴,
I. LAVRENTIEV⁴, E. POHL¹, T. SAKS¹, A. KAYUMOV², M. HOELZLE¹

**THE CURRENT STATE OF THE CRYOSPHERE AND ITS IMPACTS ON
WATER AVAILABILITY FOR TAJIKISTAN**

- 1) Department of Geosciences, University of Fribourg, Switzerland (corresponding author: martina.barandun@unifr.ch)
- 2) Center for Research of Glaciers of the National Academy of Science of the Tajikistan
- 3) Snow and Avalanche Research Institute, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research, Switzerland
- 4) Institute of Geography RAS, Russia

Abstract. *Climate-induced changes on the cryosphere are dramatic in Tajikistan, yet not well understood, despite its critical role in providing water to millions of downstream populations and ecosystems. The Pamir, is unique in its hydroclimatic and cryospheric heterogeneity due to a diverse topographic and climatological setting. Different studies have attempted to explain observed and modelled heterogeneity of the cryosphere response to climate change in Tajikistan, but many processes and its consequences remain unexplained, in large part due to a drastic lack of direct measurements. There is an urgent need to better understand the region's cryosphere and its interaction with the atmosphere and the hydrosphere. It is now time to aim for a comprehensive monitoring of the atmosphere-cryosphere-hydrosphere nexus to provide the baseline for future predictions of the major water tower of the region. With the project Project "Strengthening the Resilience of Central Asian Countries by Enabling Regional Cooperation to Assess Glacio-nival Systems to Develop Integrated Methods for Sustainable Development and Adaptation to Climate Change" we now aim for a systematic, highly efficient, and moder cryosphere monitoring across Central Asian based on transboundary collaboration. Modern installations of ablatomteres, automatic weather stations, snow water equivalent monitoring and flow velocity observations in combination with modern remote sensing and numerical modelling will help to better understand the past and current cryosphere response to climate changes.*

Key words: cryosphere changes, heterogeneous response, water resource management, monitoring.

Introduction

The Project "Strengthening the Resilience of Central Asian Countries by Enabling Regional Cooperation to Assess Glacio-nival Systems to Develop Integrated Methods for Sustainable Development and Adaptation to Climate Change" funded by the Global Environmental Facility, implemented by UNDP and executed by UNESCO aims to improve the cryosphere monitoring and the data accessibility for improved water resource management in Central Asia. As a recognized climate change hotspot (Giorgi et al., 2006), the region faces substantial challenges, particularly impacting vulnerable mountain communities engaged in subsistence farming and herding. Tajikistan has rich water resources and occupies a key position as water tower in Central Asia because it uses only 17-20% of its water resources generated on its territory (Ministry of Energy and Water Resources of Tajikistan). The basis of Tajikistan's water resources is the cryosphere. Based on the World Bank's Climate Change Knowledge Portal, approximately 50% of the runoff of the Amu Darya River, a vital water source, is primarily fed by glacier and snow melt (Table 1). Making cryosphere changes relevant for not only the country but the water availability of a large part of the downstream countries of Central Asia.

Main

The cryosphere in Tajikistan responds heterogeneously to climate change (Fig. 1, Barandun et al., 2021). This heterogeneity is unique. The observed changes in snow, glaciers and permafrost (Kayumov et al., 2022, Kayumov et al., 2023, Bedford and Tsarev, 2001, Aalato et al., 2017, Barandun et al., 2021) in Tajikistan not only affect water availability of a large part of Central Asia, but also provide a source for natural hazards. Despite its regional importance, direct observations in the region are extremely scarce and many monitoring sites have only been recently established. The lack of in situ

observations hinders a profound understanding of the different responses and drivers across the Pamir (Barandun and Pohl, 2023).

Table 1.

Composition and volume of the main surface water resources of Central Asia (Safronova, 2009).

Country	Amu Darya basin km ³ yr-1	Syr Darya basin km ³ yr-1	Aral Sea basin km ³ yr-1	%
Kazakhstan	-	4.50	4.50	3.9
Kyrgyzstan	1.90	27.4	29.30	25.3
Tajikistan	62.9	1.1	64.00	55.4
Turkmenistan	2.78	-	2.78	2.4
Uzbekistan	4.70	4.14	8.84	7.6
Afghanistan	6.18	-	6.18	5.4
Central Asia	78.46	37.14	115.6	100.0

Large uncertainty in regional meteorological data remains a major obstacle to our understanding of the processes driving changes in the climate-glacier-discharge nexus. Continued monitoring efforts coupled with mass balance and runoff models are needed to understand the influence of climate induced cryosphere changes, and as a response, to develop policy responses to rapidly increasing water demand in Central Asia (Hoelzle et al., 2019, Barandun et al., 2020). International collaborations and projects, such as CROMO-ADAPT, demonstrate a commitment to enhancing monitoring capabilities and understanding the impact of climate change on the cryosphere. However most monitoring activities are just at its beginning. A major effort is needed to

guarantee a long-term monitoring managed and executed by the national specialists in collaboration with regional scientific community.

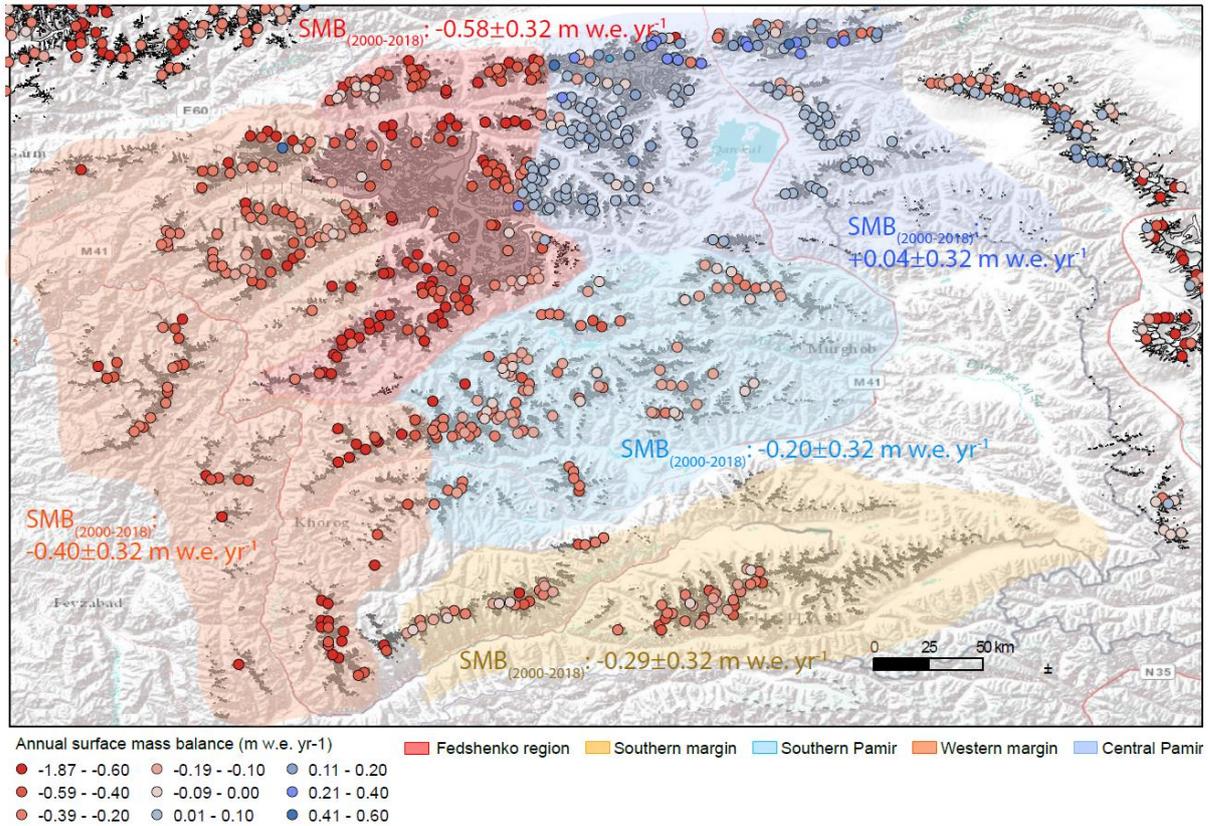


Figure 1: Annual surface mass balance for each glacier larger than 2 km² in the Pamir. Subregions with similar mass balance have been suggested in Barandun et al., (2021), highlighting the strong contrast in glacier regime, response, and climatic sensitivity (Source: Barandun et al., 2021).

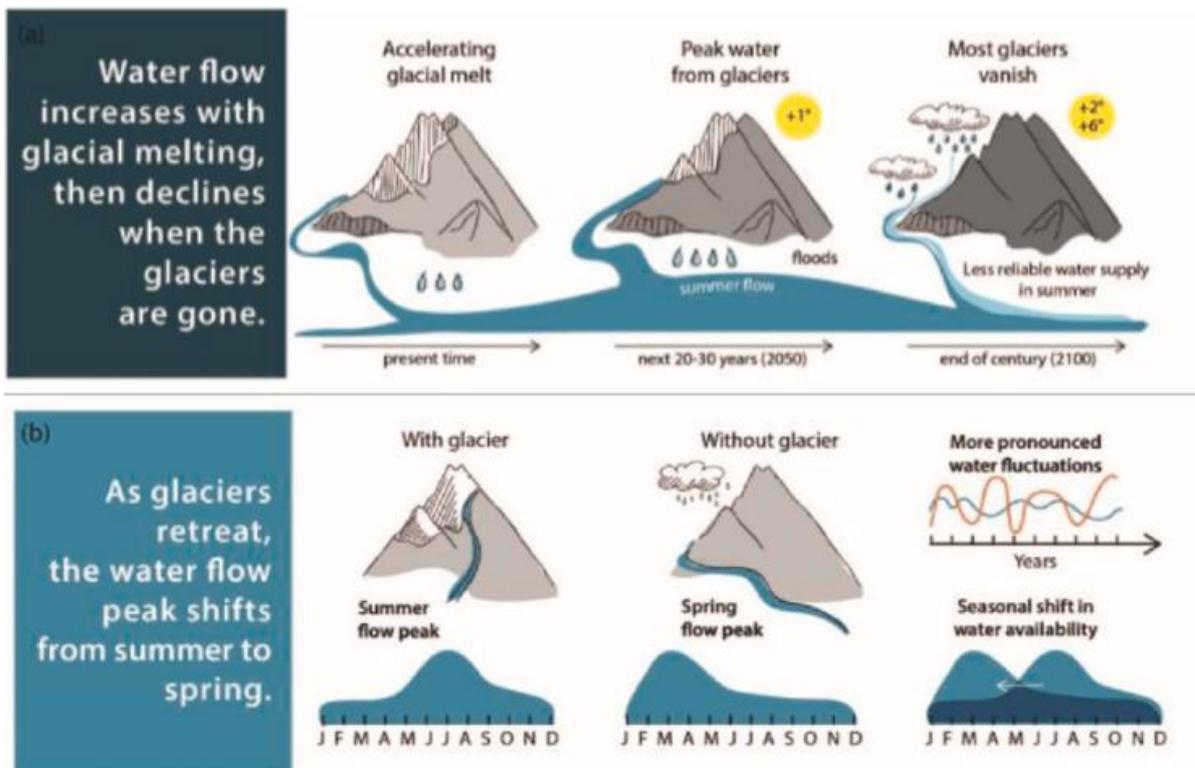


Figure 2. Schematic view of expected runoff changes under ongoing climate change: (a) affecting total glacier melt water contribution and (b) seasonality in water availability (Credits: Zoë Environment Network, Geneva).

Climate change is significantly affecting the conditions that shape river runoff in Tajikistan by directly affecting the cryosphere (Figure 2). The expected increase in average annual river runoff until around 2060, due to rising air temperatures and enhanced snow and ice melt, illustrates the complex relationship between climate change and the hydrological cycle (Saks et al., 2021, Aizen et al., 1995, Armstrong et al., 2019). After this runoff peak, glacier meltwater contribution will decrease, and challenges arise from the projected decrease in runoff in the regions with glacier-dominated runoff after 2080 (Kure et al., 2013; Xenarios et al., 2019).

There are many challenges and uncertainties in assessing the impacts of climate change on glaciation and water resources in Tajikistan. Historical data, as presented in the Climate Change Profile and the National Strategy of Adaptation to Climate Change, reflect the limitations of available information and hinder comprehensive assessments. These data gaps make it difficult to

accurately predict the future trajectory of glaciers and water resources. In addition, the wide range of natural hazards, including landslides, droughts, and floods, complicates assessment and highlights the need for improved monitoring systems, data collection methods and capacities to enhance our understanding of these dynamic systems (Khakimov et al., 2019, 2020; Barbone et al., 2010).

Conclusion

Addressing the challenges posed by climate change in Tajikistan requires an urgent focus on improving monitoring systems and data exchange mechanisms. Improvements in atmospheric, cryosphere and hydrological monitoring, with a particular emphasis to capture spatial and temporal variations in temperature, precipitation, and glacier dynamics, are essential for accurate assessments and informed decision-making. Collaboration between national and international agencies, as well as the integration of advanced technologies, can facilitate the development of a robust monitoring framework. This improvement is not only essential for understanding the immediate impacts of climate change but is also crucial for predicting and adapting to future changes in the cryosphere and ensuring sustainable water resource management in Tajikistan (Aalto et al., 2017; Climate Change Knowledge Portal WB).

References:

1. Aalto, J., Kämäräinen, M., Shodmonov, M., Rajabov, N., & Venäläinen, A. (2017). Features of Tajikistan's past and future climate. *International Journal of Climatology*, 37(14), 4949–4961. doi:10.1002/joc.5135
2. Aizen, V. B., Aizen, E. M., & Melack, J. M. (1995). Climate, snow cover, glaciers, and runoff in the Tien Shan, Central Asia. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 31(6), 1113–1129. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1995.tb03426.x>

3. Armstrong, RL., Rittger, K., Brodzik, MJ., Racoviteanu, A., Barrett, AP., Khalsa, SJS, Raup, B., Hill, AF., Khan, AL., Wilson, A., Kayastha, RB., Fetterer, F. & Armstrong, B. (2019). Runoff from glacier ice and seasonal snow in High Asia: separating meltwater sources in river flow. *Regional Environmental Change*, 19(5), 1249-1261. <https://doi.org/10.1007/s10113-018-1429-0>.
4. Barandun, M., and Pohl, E. (2023). Central Asia's spatiotemporal glacier response ambiguity due to data inconsistencies and regional simplifications. *The Cryosphere*, 17, 1343–1371. <https://doi.org/10.5194/tc-17-1343-2023>
5. Barandun, M., Fiddes, J., Scherler, M., Mathys, T., Saks, T., Petrakov, D., & Hoelzle, M. (2020). The state and future of the cryosphere in Central Asia. *Water Security*, 11, 100072. <https://doi.org/10.1016/j.wasec.2020.100072>
6. Barandun, M., Pohl, E., Naegeli, K., McNabb, R., Huss, M., Berthier, E., Saks, T., & Hoelzle, M. (2021). Hot spots of glacier mass balance variability in Central Asia. *Geophysical Research Letters*, 48(11), e2020GL092084. <https://doi.org/10.1029/2020GL092084>
7. Barbone, L., Reva, A., Zaidi, S. (2010). Tajikistan: Key Priorities for Climate Change Adaptation (November 1, 2010). World Bank Policy Research Working Paper No. 5487, Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=1718245>
8. Bedford, D. and Tsarev, B.: Central Asian Snow Cover from Hydrometeorological Surveys, Version 1, Boulder, Colorado USA, NSIDC: National Snow and Ice Data Center, <https://doi.org/10.7265/N51Z4291>, 2001.
9. Giorgi, F. (2006). Climate change hot-spots. *Geophysical research letters*, 33(8). Gleick, P.H. and M. Palaniappan, Peak water limits to freshwater

- withdrawal and use. Proceeding of National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS), 2010. 107: p. 11155–11162. <https://doi.org/10.1073/pnas.1004812107>.
10. Hoelzle, M., Barandun, M., Bolch, T., Fiddes, J., Gafurov, A., Muccione, V., Saks, T., & Shahgedanova, M. (2019). The status and role of the alpine cryosphere in Central Asia. In *The Aral Sea Basin* (pp. 100–121). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780429436475-8>
 11. Kayumov A., Kabutov H. K., Navruzshoev H. D. (2022). Dynamics of changes in glaciation in the Sarygun River basin in the area of Lake Karakul. *News of the National Academy of Sciences of Tajikistan. Department of Physical, Mathematical, Chemical, Geological and Technical Sciences.* -- # 3(188). – P. 165-173. – EDN MFAZYR.
 12. Kayumov A., Kabutov H. K., Hoelzle M., Saks T., Barandun M. (2023). Mass balance of the Eastern Zulmart glacier (No. 139) for 2018-2022. *News of the National Academy of Sciences of Tajikistan. Department of physical and mathematical, chemical, geological and technical sciences.* – # 1(190). – P. 94-102.
 13. Khakimov, P. (2019). *Climate Change in Afghanistan, Kyrgyzstan and Tajikistan: Trends and adaptation policies, fostering innovation.* Working paper #55.
 14. Khakimov, P., Aliev, J., Thomas, T., Ilyasov, J., Dunston, S. (2020). *Climate Change Effects on Agriculture and Food Security in Tajikistan //Silk Road: A Journal of Eurasian Development.* – 2020. – T. 2. – №. 1. – p. 89-112.
 15. Kure, S., Jang, S., Ohara, N., Kavvas, M. L., Chen, Z. Q. (2013). Hydrologic impact of regional climate change for the snowfed and glacierfed river basins in the Republic of Tajikistan: hydrological response of flow to climate change: *Hydrological Processes*, v. 27, no. 26, pp. 4057–4070.

16. Saks, T., Pohl, E., Machguth, H., Dehecq, A., Barandun, M., Kenzhebaev, R., Kalashnikova, O., Hoelzle, M. (2022). Glacier Runoff Variation Since 1981 in the Upper Naryn River Catchments, Central Tien Shan. *Front. Environ. Sci., Sec. Freshwater Science*, v-9. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.780466>
17. Safronova, Y. (2009). «Vodnaya problema» v Tsentral'noy Azii i yeye vliyaniye na imidzh Rossii i Kitaya v regione. *Kitay v mirovoy i regional'noy politike. Istoriya i sovremennost'*, 14(14), 94-114.
18. Xenarios, S., Gafurov, A., Schmidt-Vogt, D., Sehring, J., Manandhar, S., Hergarten, C., Shigaeva, J., & Foggin, M. (2019). Climate change and adaptation of mountain societies in Central Asia: uncertainties, knowledge gaps, and data constraints. *Regional Environmental Change*, 19(5), 1339–1352. <https://doi.org/10.1007/s10113-018-1384-9>.

М. БАРАНДУН, С. АТАНОВ, Х. НАВРУЗШОЕВ, Х. КАБУТОВ, А. ХАЛИМОВ, Ф.
ВОСИДОВ, Т. МАТИС, Э. МАТТЕА, ДЖ. ФИДДЕС, А. СМИРНОВ, И. ЛАВРЕНТЬЕВ, Э. ПОЛЬ,
Т. САКС, А. К. КАЮМОВ, М. ХЕЛЬЦЛЕ

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ КРИОСФЕРЫ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ДОСТУПНОСТЬ ВОДЫ ДЛЯ ТАДЖИКИСТАНА

***Аннотация.** Изменения криосферы, вызванные климатом, в Таджикистане драматичны, но недостаточно изучены, несмотря на критическую роль криосферы в обеспечении водой миллионов жителей и экосистем в нижнем течении реки. Памир уникален своей гидроклиматической и криосферной неоднородностью, обусловленной разнообразными топографическими и климатическими условиями. В различных исследованиях предпринимались попытки объяснить наблюдаемую и смоделированную неоднородность реакции криосферы на изменение климата в Таджикистане, однако многие процессы и их последствия остаются необъясненными, в значительной степени из-за острой нехватки прямых измерений. Существует острая необходимость в более глубоком понимании криосферы региона и ее взаимодействия с атмосферой и гидросферой. Настало время стремиться к всеобъемлющему мониторингу взаимосвязи атмосферы, криосферы и гидросферы, чтобы обеспечить основу для будущих прогнозов состояния основных водонапорных башен региона. Проект "Укрепление устойчивости стран Центральной Азии путем обеспечения регионального сотрудничества по оценке гляцио-нивальных систем для разработки комплексных методов устойчивого развития и адаптации к изменению климата" нацелен на систематический, высокоэффективный и умеренный*

мониторинг криосферы в Центральной Азии на основе трансграничного сотрудничества.

Ключевые слова: изменения криосферы, гетерогенный отклик, управление водными ресурсами, мониторинг.

М. БАРАНДУН, С. АТАНОВ, Ҳ. НАВРУЗШОЕВ, Х. КАБУТОВ, А. ҲАЛИМОВ, Ф.
ВОСИДОВ, Т. МАТИС, Э. МАТТЕА, Ч. ФИДДЕС, А. СМИРНОВ, И. ЛАВРЕНТЕВ, Э. ПОЛ, Т.
САКС, А. Қ. ҚАЮМОВ, М. ХЕЛТСЛЕ

ВАЗЪИЯТИ ҲОЗИРАИ КРИОСФЕРА ВА ТАЪСИРИ ОН БА ДАСТРАСИИ ОБ БАРОИ ТОҶИКИСТОН

Фишурда. *Тағйироти криосфераи Тоҷикистон, сарфи назар аз нақши муҳимми криосфера дар таъмини об ба миллионҳо одамон ва экосистемаҳои поёноб назаррасанд, аммо ба таври кофӣ дарк карда нашудаанд. Помир аз ҷиҳати гетерогени гидроклимати ва криосферии худ беҳамто аст, ки дар натиҷаи шароити гуногуни топографию иқлимӣ ба амал омадааст. Таҳқиқоти гузаронидашудаи мухталиф кӯшиш карданд, ки гетерогени мушоҳидашуда ва моделшудаи воқуниши криосфера ба тағйирёбии иқлим дар Тоҷикистонро шарҳ диҳанд, аммо бисёре аз равандҳо ва оқибатҳои онҳо, асосан аз сабаби набудани ҷиддии андозагирии мустақим номаълум боқӣ мемонанд. Дар бораи криосфераи минтақа ва таъсири мутақобилаи он бо атмосфера ва гидросфера бехтар фаҳмидан зарур аст. Вақти он расидааст, ки барои назорати ҳамаҷонибаи таъсири мутақобилаи атмосфера, криосфера ва гидросфера кӯшиш кунем, то ки барои пешгуии ояндаи вазъияти манораҳои асосии оби минтақа асос гардад. Лоиҳаи «Таҳқими устувори кишварҳои Осиёи Марказӣ тавассути таъмини ҳамкориҳои минтақавӣ оид ба арзёбии системаҳои пиряхӣ - нивалӣ барои таҳияи усулҳои интегралӣ рушди устувор ва мутақобилаи ба тағйирёбии иқлим» ба мониторинги систематикӣ, таъсирбахш ва мӯътадили криосфераи марказӣ нигаронида шудааст.*

Калидвожаҳо: тағйирёбии криосфера, воқуниши гетерогенӣ, идоракунии захираҳои об, мониторинг.

УДК 624. 131

М. Ю. БЕККИЕВ, М. Д. ДОКУКИН, ¹Р. Х. КАЛОВ, ²С. И. ШАГИН,¹
А. Р. АКАЕВ

МОРЕННЫЕ ПЬЕДЕСТАЛЫ – ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ОЧАГИ ФОРМИРОВАНИЯ СЕЛЕЙ ГИГАНТСКИХ ОБЪЁМОВ

¹*Высокогорный геофизический институт, г. Нальчик, Россия*

²*Кабардино-Балкарский государственный университет имени Х. М. Бербекова, г.
Нальчик, Россия*

*E-mail: mbekk@mail.ru, inrush@bk.ru, ruslan_kalov@mail.ru,
uniid-sergey@yandex.ru, akaev.axmat@mail.ru*

Аннотация. *В горах кроме известных форм мерзлоты – каменных глетчеров – встречаются массивы в форме языкообразных моренных пьедесталов, которые могут быть покрыты ледниками, а также существующих без ледников на их поверхности. Генезис моренных пьедесталов определяется динамикой ледников, насыщенных обломочным материалом, с режимом неоднократных подвижек и наложением отложенных масс друг на друга в виде многослойной ледово-обломочной толщи. Актуальность изучения моренных пьедесталов определяется развитием в них селевых процессов с выносом гигантских объёмов обломочного материала. В статье приводятся данные о максимальных селепроявлениях, связанных с деградацией моренных пьедесталов, с объёмами выносов от нескольких млн м³ до нескольких сотен млн м³.*

Ключевые слова: моренный пьедестал, селевой поток, селевой врез, селевые отложения, сход ледника

При изучении селевых катастроф, не связанных с прохождением ливней и прорывами озёр, возникают проблемы определения причин и факторов их формирования. По-разному интерпретируются процессы формирования крупных эрозионных форм (селевых врезов и воронок) в моренных массивах. Различные точки зрения на причины Иссыкской селевой катастрофы 1963 г. и формирования эрозионных воронок («оползне-селевых ниш») на моренном массиве ледника Жарсай

приведены в работе [3]. Барсемская катастрофа на Памире 16 июля 2015 г. [5] ещё раз показала, что такие масштабные селевые процессы требуют серьёзного и углублённого изучения, особенно в современный период изменения климата, когда происходит ускоренное таяние горных ледников и массивов горной мерзлоты. Это вызывает активизацию опасных природных процессов (селевые потоки, прорывы озёр, ледово-каменные лавины, сходы ледников).

Горная мерзлота представлена массивами, содержащими погребённые ледниковые льды и льды другого происхождения. В зависимости от содержания льда и его происхождения, а также от объёмов массивов мерзлоты процессы, зарождающиеся в них, имеют различную степень опасности. Катастрофические селепроявления в каменных глетчерах охарактеризованы в работе [6].

Особое внимание селепроявлениям в моренных пьедесталах (языкообразных массивах толщиной до 50-70 м с большим содержанием льда, ограниченных с боков береговыми моренами) уделено в работах [1, 4, 5]. Моренные пьедесталы образуются в результате многочисленных подвижек насыщенных обломками ледников и наложения отложенных масс друг на друга. На определённом этапе эволюции моренных пьедесталов происходит вынос всего гигантского объёма обломочного материала, заключённого между береговыми моренами, в виде селевых потоков высокой плотности. Это обусловлено особенностями генезиса и внутреннего строения – в результате постепенного таяния внутреннего льда пьедесталов в локальных ячейках моренных массивов, как в сотах, может долгое время сохраняться готовая потенциально селевая масса, которая превращается в сель после разрушения водоупорных перегородок. Эти перегородки разрушаются последовательно, по мере развития процесса, инициированного незначительным внешним воздействием или сползанием одного из участков.

Последствиями селевых процессов, продолжавшихся в течение нескольких суток и недель, являются селевые врезы, хорошо распознаваемые на аэрофотоснимках и космических снимках. Подтверждением того, что такие крупные эрозионные формы образуются за один длительный селевой процесс, являются описания свидетелей этих процессов [7, 8], а также характеристика процессов, зафиксированных в разных районах мира в последние годы [5, 11].

В некоторых работах приведены количественные данные об объёмах выносов из моренных пьедесталов: из массива в балке Джаловчат в долине р. Адырсу – 3 млн м³ [7] (рис. 1b), в долине р. Тютюнсу – ориентировочно более 4 млн м³ [4] (рис. 1a), из Жарсайских воронок в долине р. Иссык – до 6 млн м³ [3], из моренного пьедестала ледника Меру Бамак в долине р. Бхагиратхи – 6,5 млн м³ (отложения), около 8 млн м³ (объём вреза) [11].

На рис. 1 показаны крупнейшие селепроявления в моренных пьедесталах на Центральном Кавказе.

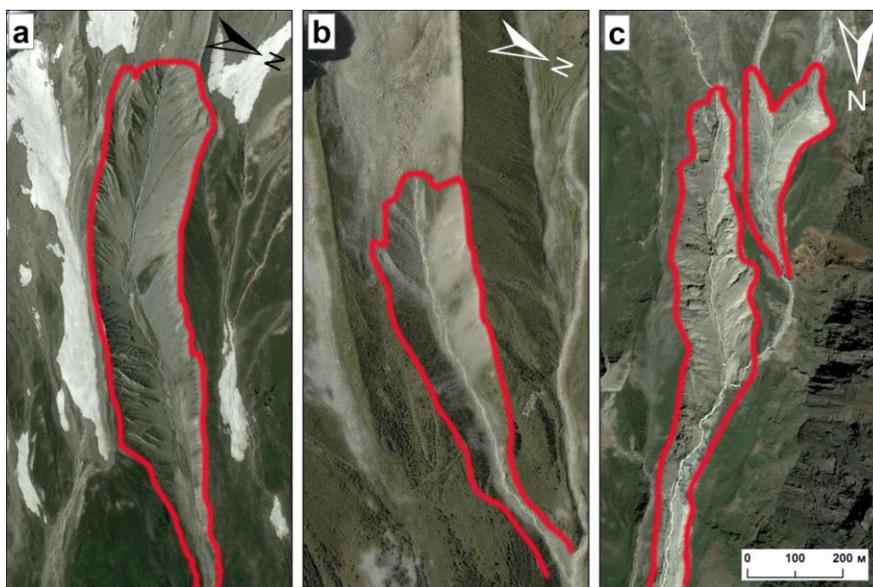


Рис. 1. Селевые врезы в моренных пьедесталах на Центральном Кавказе: а – в долине р. Тютюнсу в бассейне р. Черек Балкарский (КБР), б – в балке Джаловчат долины р. Адырсу в бассейне р. Баксан (КБР), с – в долине р. Сонгутидон бассейна р. Урух (РСО-Алания). Космоснимки с сервиса Google Earth. Все фрагменты в одном масштабе.

На рис. 2 показаны селевые врезы в моренных пьедесталах на Памире.

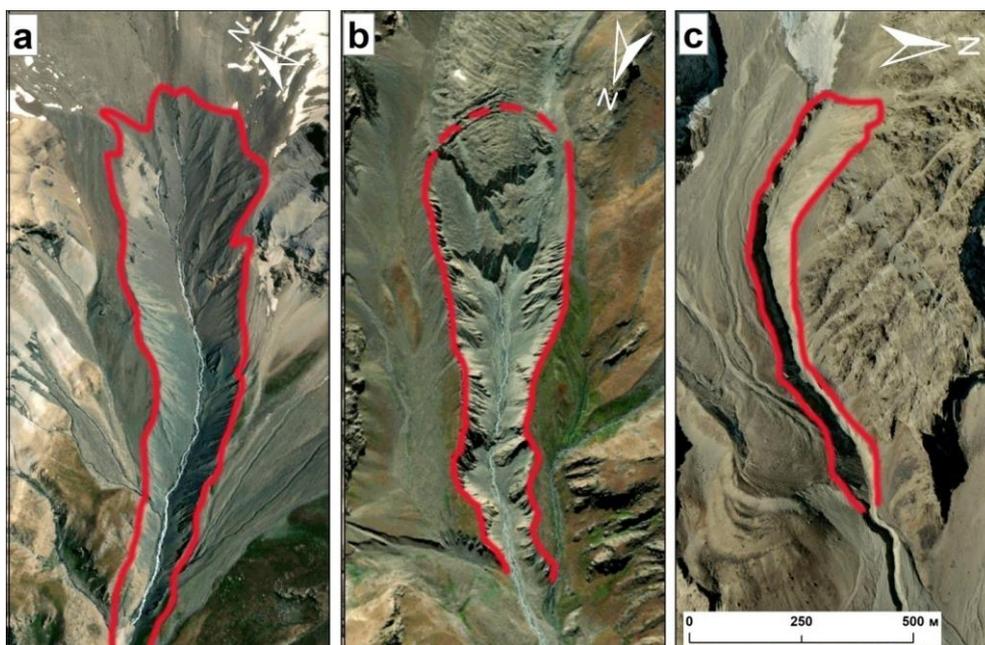


Рис. 2. Селевые врезы в моренных пьедесталах на Памире (Таджикистан): а – в долине р. Дараи курговад (правый приток р. Пяндж), б – в долине р. Дараипшихарв (правый приток р. Пяндж) врез частично заполнен наступившим ледником, с – в долине р. Барсемдара (правый приток р. Гунт в бассейне р. Пяндж). Космоснимки с сервиса Google Earth. Все фрагменты в одном масштабе.

Фактически, моренные пьедесталы являются потенциальными селевыми массивами или потенциальными селевыми очагами. С некоторыми нюансами объём отложений будущего селевого процесса можно определить исходя из объёма пьедестала. В результате мониторинга процессов в зоне горной мерзлоты был выявлен максимальный объём селевых выносов из моренного пьедестала ледника Седонгпу в Тибете в 2021 г. (рис. 3) [1].

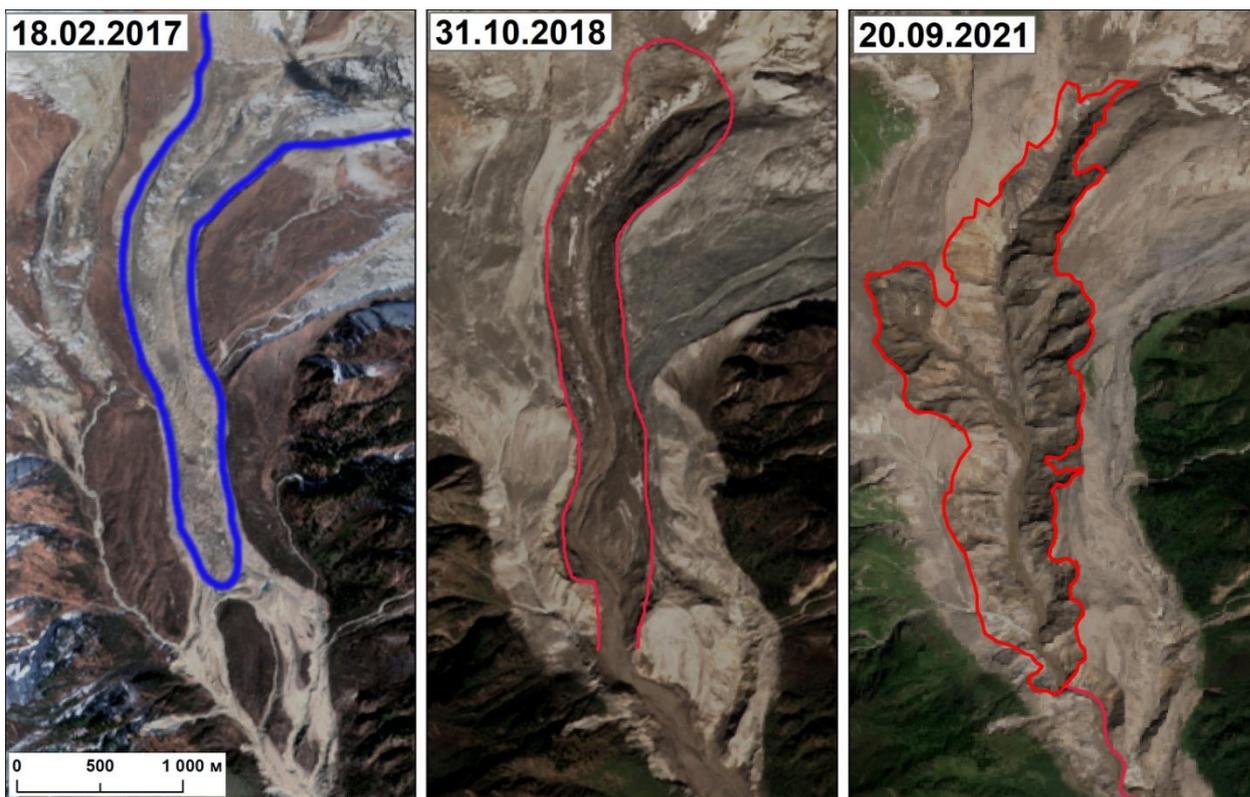


Рис. 3. Состояние моренного пьедестала ледника Седонгпу в разные годы: 2017 – пьедестал покрыт ледником, 2018 – ледник с пьедестала сошёл, 2021 – материал пьедестала вынесен многочисленными селевыми потоками. Фрагменты космоснимков Sentinel-2 <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/>

По данным [10] он составил около 335 млн м³ (!). То, что этому грандиозному селевому процессу предшествовал сход ледника в 2018 г. объёмом 130 млн м³ [9], позволяет оценивать селевую опасность моренных пьедесталов, ещё покрытых ледниками, и предполагать возможное их влияние на сходы ледников в будущем. Например, можно предположить в будущем развитие крупномасштабного селевого процесса на моренном пьедестале ледника Чегеткарачиран (Донгузорун) в верховьях р. Донгуз - Орунбаксан правого притока р. Баксан в Приэльбрусье Кабардино-Балкарии (Россия) (рис. 3).



Рис. 3. Ледник Чегеткарачиран (Донгузорун) на моренном пьедестале
(Фото А.Р. Акаева, 2023).

Для оценки потенциальной селевой угрозы моренных пьедесталов необходимо разработать методику их выявления среди различных моренных комплексов и переходных типов разного генезиса. Например, моренные пьедесталы могут быть частью береговых морен как с внутренней, так и с внешней стороны – быть прислонёнными с моренной гряде, и заполняя карманы береговых морен [1, 2]. Могут быть переходные типы от моренных пьедесталов к коллювиальным образованиям, от моренных пьедесталов к каменным глетчерам. В этих случаях селевой потенциал намного выше, чем у обычных коллювиальных форм и каменных глетчеров.

Таким образом, на современном этапе ускорения деградации горной мерзлоты назрела необходимость подобно каталогам ледников и каменных глетчеров составления каталогов моренных пьедесталов с оценкой их селевых потенциалов и разработкой мероприятий по

снижению риска возникновения чрезвычайных ситуаций, вызванных селевыми процессами в моренных пьедесталах.

Список литературы

1. Беккиев М. Ю., Докукин М. Д., Калов Р. Х., Шагин С. И. Экстремальные селепроявления на моренных пьедесталах в 2018–2021 гг. (по материалам дистанционного зондирования Земли) // ГеоРиск. 2021. Т. XV. № 3. С. 40–48.
2. Беккиев М. Ю., Докукин М. Д., Калов Р. Х., Федченко Л. М. Формирование селевых врезов на участках береговых морен долинных ледников // Вестник Владикавказского научного центра. 2021. Т. 21. № 3. С. 48–55.
3. Виноградов Ю. Б. Гляциальные прорывные паводки и селевые потоки. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. 155 с.
4. Докукин М. Д., Черноморец С. С., Савернюк Е. А. Моренные пьедесталы – очаги формирования катастрофических гляциальных селей // Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита. Материалы IV Международной конференции. – Иркутск: Изд-во Ин-та географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, 2016. С. 67–71.
5. Докукин М. Д., Черноморец С. С., Савернюк Е. А., Запорожченко Э. В., Бобов Р. А., Пирмамадов У. Р. Барсемская селевая катастрофа на Памире в 2015 году и ее аналоги на Центральном Кавказе // ГеоРиск. 2019. Т. 13. № 1. С. 26–36.
6. Докукин М. Д., Беккиев М. Ю., Калов Р. Х., Савернюк Е. А., Черноморец С. С. Каменные глетчеры – очаги формирования катастрофических селей // ГеоРиск. 2020. Т. 14. № 2. С. 52–65.

7. Ковалёв П. В. Геоморфологические исследования в Центральном Кавказе (бассейн р. Баксан). – Харьков: Изд-во Харьковского ун-та, 1957. 162 с.
8. Тулеев О. В. Селевые явления Памира: катастрофы, закономерности, прогноз. – М.: ВНИИ ГОЧС, 2002. 176 с.
9. Kääb A., Jacquemart M., Gilber A., Leinss S., Girod L., Huggel Ch., Falaschi D., Ugalde F., Petrakov D., Chernomorets S., Dokukin M., Paul F., Gascoin S., Berthier E., Kargel J.S. Sudden large-volume detachments of low-angle mountain glaciers – more frequent than thought? // *Cryosphere*. 2021. Vol. 15. No. 4. Pp. 1751–1785.
10. Kääb A., Girod L. Brief communication: Rapid $\sim 335 \times 10^6 \text{ m}^3$ bed erosion after detachment of the Sedongpu Glacier (Tibet) // *The Cryosphere*. 2023. Vol. 17. Pp. 2533–2541.
11. Kumar A., Bhambri R., Tiwari S.K., Verma A., Gupta A.K., Kawishwar P. Evolution of debris flow and moraine failure in the Gangotri Glacier region, Garhwal Himalaya: Hydro-geomorphological aspects // *Geomorphology*. 2019. Vol. 333. Pp. 152–166.

M. YU. BEKKIEV, M. D. DOKUKIN, R. KH. KALOV, S. I. SHAGIN, A. R. AKAEV

MORaine PEDESTALS ARE POTENTIAL SITES FOR THE FORMATION OF DEBRIS FLOWS OF GIGANTIC VOLUMES

Abstract. *In the mountains, in addition to the well-known forms of permafrost – rock glaciers – there are massifs in the form of tongue-shaped moraine pedestals that can be covered with glaciers, as well as existing without glaciers on their surface. The genesis of moraine pedestals is determined by the dynamics of glaciers saturated with debris material, with a regime of repeated movements and the superposition of deposited masses on top of each other in the form of a multilayer ice-debris mass. The relevance of studying moraine pedestals is determined by the development of debris flow processes in them with the removal of giant volumes of debris material. The article provides data on the maximum debris flows associated with the degradation of moraine pedestals, with volumes of deposited masses from several million m^3 to several hundred million m^3 .*

Keywords: moraine pedestal, debris flow, debris flow cut, debris flow deposits, glacier detachment.

М. Ю. БЕККИЕВ, Д. ДОКУКИН, Р. Х. КАЛОВ, С. И. ШАГИН, А. Р. АКАЕВ

ПОЯҲОИ МОРЕНАВӢ ҲАМЧУН ҚОЙҲОИ ИМКОНПАЗИРИ ТАШАККУЛИ ҚАРАӢНҲОИ СЕЛҲОИ ҲАҚМАШОН КАЛОН

Фишурда. Дар кӯҳҳо, ба ғайр аз шаклҳои маъруфи яхбандӣ глетчерҳои сангӣ, массивҳо дар шакли педесталҳои забонмонанди яхбандиҳо мавҷуданд, ки метавонанд бо пирахҳо пӯшонида шаванд ва инчунин дар сатҳи онҳо бе пирахҳо вучуд доранд. Генезиси педесталҳои ақибмондаҳои яхбандӣ бо динамикаи пирахҳои пур аз маводи шикаста, бо реҷаи ҳаракатҳои такрорӣ ва гузоштани массаи гузошташуда ба ҳамдигар дар шакли ғафсии бисерқабатаи яхбандӣ муайян карда мешавад. Аҳаммияти омӯзиши педесталҳои яхбандӣ аз рушди қараенҳои санги гил бо баровардани ҳаҷми бузурги маводи шикаста муайян карда мешавад. Дар мақола маълумот дар бораи зуҳуроти максималии қараёнҳои санги гил, ки бо вайроншавии педесталҳои яхбандиҳо алоқаманд аст, бо ҳаҷми баровардашавӣ аз якчанд миллион м³ то якчанд сад миллион м³ оварда шудааст.

Калидвожаҳо: пойгоҳи яхбандҳо, қараени санги гил, чӯйе, ки аз қараени санги гил ташкил шудааст, қойҳои қараени сангҳои гил, фурупоиши пирах.

Сведения об авторах:

Беккиев Мухтар Юсубович – врио директора ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», профессор, доктор технических наук;

Докукин Михаил Дмитриевич – ведущий научный сотрудник отдела стихийных явлений ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», кандидат географических наук;

Калов Руслан Хажбарович – заместитель директора по науке ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», кандидат физ.-мат. наук, доцент;

Шагин Сергей Иванович – помощник ректора ФГБОУ ВО Кабардино - Балкарский государственный университет имени Х. М. Бербекова, профессор, доктор географических наук, зам. председателя НТС;

Акаев Ахмат Русланович – аспирант ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», ведущий инженер

УДК 624.131

Ф. Х. КАРИМОВ, М.З. ДАВЛЯТОВА

ТАНАЗЗУЛИ МОРЕНАИ ПИРЯХИ РГО ДАР ТОЧИКИСТОН

*Институти геология, сохтмони ба заминчунбӣ тобовар ва
сейсмологияи АМИТ seismtadj@rambler.ru*

Фишурда Дар асоси фарзҳои маълуми геологияи муҳандисӣ, гидрологӣ ва гидрогеологӣ таҳлили табиати қифҳо, ки дар моренаи пиряхи РГО дар Тоҷикистон ба вучуд омадаанд, гузаронида шудааст. Барои қисмати моренаи поёнӣ механизми суффозионӣ пешниҳод карда шудааст, барои қисми боло – термокарстӣ. Шартҳои аналитикӣ барои пайдоиши қифҳои моренаи РГО ба даст оварда шудаанд.

Калидвожаҳо: пирях, морена, суффозия, термокарст, филтратсия, бодшавии хокҳо.

Муқаддима

Амалиёт аз таҳқиқоти муҳандисию геологӣ ва гидрогеологии пиряхҳои кӯҳӣ-водӣ дар Тоҷикистон нишон медиҳад, ки дар сатҳи онҳо пастшавиҳои водишакл бо андозаҳои хоси хаттӣ то 100 метр аз рӯйи тартиби калон ба амал омада метавонанд. Умуман, чунин ҳодисаҳо дар маҳалҳои маълуманд, ки дар онҳо хокҳои лёссмонанди (зардхокмонанди) хусусӣ карбонатҳо, регзор ё чинсҳои яхкардашуда паҳн шудаанд [1-5]. Шарти умумии пайдоиши даҳанаҳо сӯст муттаҳид шудани чинсҳо, хосиятҳои нисбатан баланди пошхӯрӣ, қовоқӣ ва филтратсионии онҳо мебошад. Дар хокҳои лёссмонанд дар натиҷаи филтратсияи намӣ зарраҳои карбонатӣ, ки дар ин заминҳо нақши сементбарорӣ доранд, шуста шуда, сатҳи хок паст мешавад, дар хокҳои карбонатӣ низ ҳамин тавр дар натиҷаи филтратсия ва шусташавӣ пастшавии хок ба вучуд меояд ва ковокиҳои карст ба вучуд меоянд, дар хоки регдор хурдтарин

фраксияҳо бо сатҳи амиқ шуста шуда, ноустувории механикии фраксияҳои сатҳии калонтар, дар хоки яхкардашуда дар натиҷаи обшавии ях ва филтратсия ба вучуд меоянд, об ба умқи массив ворид мешавад, ҳаҷмҳо дар қабатҳои болоӣ низ хориҷ мешаванд, мувозинати қисмҳои хок вайрон шуда, холигиҳои ҳосилшуда бо маводи парокандаи наздик пур мешаванд ва ба ин васила паст мешаванд [6-9].

Дар ин асар дар асоси мафҳумҳои машҳури геологияи муҳандисӣ, гидрология ва гидрогеология хусусияти даҳанаҳо дар моренаи пиряхи РГО дар Тоҷикистон ба вучуд омада, зимнан дида баромада шудааст.

Моренаи пиряхи РГО ва усулҳои таҳқиқот

Дар ин мақола маводи мушоҳидавӣ, ки ҳангоми корҳои саҳроӣ дар моҳи августи соли 2021 дар водии Ванҷ дар Помири шимолу ғарбии ВМКБ-и Ҷумҳурии Тоҷикистон ба даст оварда шудаанд, истифода шудааст. Пиряхи РГО, ки номи худро ба муносибати Ҷамъияти ҷуғрофияи Русия гирифтааст, яке аз пиряхҳои пурқуввати Тоҷикистон мебошад [10-14]. Моренаи пиряхи РГО ҷамъшавии сангпораҳои мебошад, ки дар натиҷаи ҳаракат аз қабати пирях хориҷ карда мешаванд. Вақте, ки хоки зеризаминӣ аз таъсири фишорҳои баланд, часпак ва соиш ях мекунад, ях сангҳои зеризаминиро бо худ мебарад ва ба ин васила хошокҳоро аз онҳо хориҷ мекунад, ки он ё дар шакли хатҳо дар канори пирях - паҳлӯӣ морена - ҷамъ мешавад, ё дар қисми миёна дар рӯйи он - миёна, дарун дар қисми миёна - дохилӣ, дар поён - поёнӣ. Агар мавод дар пеши қисми фронталӣ гузошта шуда бошад, пас он моренаи терминалӣ мебошад. Пас аз ҳаракати навбатӣ пирях ақибнишинӣ мекунад ва партовҳои хориҷшуда ва боқимонда моренаи терминалиро ташкил медиҳанд. Гафсии моренаи терминалии пиряхи РГО ба чандин даҳҳо метр мерасад. Ин як массиви сангхост - аз гили тунук ва реги майда то шағал ва сангҳои алоҳида, ки дар сохтори бесарусомон омехта, фучур ва

сементнашуда. Дар айни замон худи қисми пеши моренаи канорӣ ба массив монанд аст, ки андозаҳои хаттиаш тақрибан 1 километр аст, дар ҷойҳои, ки бо роҳҳои хаттӣ ва гулучаҳои сиркшакл дар қад - қади нишеби кӯҳ аз боло ба поён фуруд омадаанд, ба назар мерасад. Ба воситаи гузаргоҳҳо-каналҳои, ки тавассути об бурида мешаванд, воҳидҳои пай дар пай пайваस्त карда мешаванд. Таҳшишҳои сершумори даҳанашакл, ки чуқуриашон то даҳҳо метр аст, дараҷаҳои гуногун аз об пур мешаванд (расми 1).



Расми 1. Ҷӯзъи каналҳо ва даҳанаҳо бо об дар моренаи пирихи РГО.

Диаметри даҳанаҳо ба даҳҳо метр мерасад, кунҷи нишебии онҳо ба ҳисоби миёна ба $30-50^{\circ}$ мерасад, ки ин аз рушди интенсивии равандҳои эрозия дар бадани морена, аз кат хориҷ шудани партовҳо ва ҷамъ шудани он дар зери минтақаи аблятсияи фронталии пирих (расми 2).



Расми 2. Моренаи поёнии пирихи РГО.

Тарзҳои таҳқиқот таҳлили мушоҳидаҳои сахроиро дар асоси моделсозии физикии филтратсияи об дар ҷинсҳои морена, равандҳои суффозия ва термокарст, ҳисобҳои таҳлилий дар доираи сохтори маҳдудияти мувозинати ҷисмҳо дар ҳамвории моилмонанд ба ярҷҳои пай дар пай иборатанд.

Равандҳои суффозия

Гирифтани мавод метавонад ҳам дар зери таъсири обҳои пайдоиши беруна – аз боришот ва ҳам аз обҳои, ки дар натиҷаи обшавии пирихҳо, фирнҳо дар зери таъсири нури офтоб ба вучуд меоянд, инчунин аз дендритҳо. Боришоти атмосфера дар минтақа, ки моренаи пирихи РГО воқеъ аст, дар давоми ҳар сол нисбатан тез-тез ба амал меояд. Мавҷудияти каналҳои обӣ дар байни даҳанаҳои ҳамсоя (расми 1) аз нақши муайяни об ва фирнҳои худии пирих дар рушди суффозия шаҳодат медиҳад. Дар канори морена каналҳои калон ба вучуд меоянд. Аз сабаби суръати нисбатан баланд дар қисми марказии пирих ва суръати пасттар дар наздикии паҳлӯҳо, дар аввалӣ бештар модда ҷамъ мешавад, дар хатти пирихҳо релефи баландкӯҳи кӯлҳо ба вучуд омада, каналҳои калон ба паҳлӯҳо наздиктаранд. Дар қисматҳои хеле пешинаи морена релефи

мулоим ва води шакл бо камонҳои мавҷмонанди харобаҳои мавҷуд аст, ки дар натиҷаи набзи пиряхҳои гузашта ба амал омадаанд – водии шуста.

Тавре ки дар расмҳои нишон дода шудааст (расмҳои 1, 2), деворҳои даҳанаҳои сохтори қабати дорои қабатҳои навбатии қум, гили дараҷаҳои гуногуни доначаҳои ва сангчаҳои доранд. Қабатҳои хоки қум ва гил як лентаи мавсимӣ ва солоноро ташкил медиҳанд, ки номи сангҳои лентаии пароканда дорад. Дар фаслҳои тобистон, дар давраи обшавии шадиди пиряхҳои дарёҳои инфилтратсионӣ ба обанбор ба андозаи бештар суспензияҳои реҗи майда, чангу хок ва гил дохил мешаванд. Дар зимистон обшавии он суст аст ва танҳо зарраҳои гили тунукро ворид шудан мумкин аст. Деформатсияҳои амудии ҳалқаҳои равандҳои нобаробарӣ ва якхела будани ҷамъшавии маводи моренаро нишон медиҳанд (расми 2). Ҳангоми ворид шудан ба воҳиди каналҳои қисман тақрибан ба таври уфуқӣ паҳн мешаванд ва баъд ба он дар шакли ҷӯйборҳои ҷорӣ мешаванд.

Механизми пайдошавии даҳанаҳои

Равшан аст, ки шусташавии маводи маҳин пароканда бояд аввал аз он ҷойҳои дар сатҳи морена, ки барои ҷамъшавии намӣ мусоид мебошанд, оғоз шавад. Инҳо метавонанд ҳандакҳои хаттии байни эскерҳои ва илова бар ин, депрессияҳои маҳаллӣ дар кад-кади профилҳои ин захбурҳои бошанд (расми 3). Дар айни замон, шустани фраксияи майдаи рӯйизаминӣ боиси хориҷ шудани холигоҳҳои дар ин ҷо мегардад, ки дар онҳо ҳатто бештар об ҷамъ шуда метавонад, яъне равандҳои филтратсия, масалан, ба гуфтаи Дарси, ва суффюзия суръат мегиранд. Давраи мусбати аксуламали равандҳои ба вучуд меояд: афзоиши суръати ҷараёни об ба фаъол шудани суффюзия ва фаъолшавии суффюзия боиси афзоиши ҷараёни об мегардад.

Шароити критикӣ барои вайроншавии мувозинати зарраҷаро дар сатҳи даҳана бо об пуршуда бо истифода аз принципи мувозинати ҳаддӣ

муайян менамоем [3, 15]. Ба заррачае, ки дар сатҳи даҳана ҷойгир аст, ки кунҷи қарори он α аст, ба ду гурӯҳи қувваҳо таъсир мерасонад: қувваҳои гравитатсионии P , фишори гидродинамикии ҷараёни об F_h ва соиши часпаки F_μ , ки ба шустани он мусоидат мекунад, ва қувваҳои фишори муқаррарии табиати ҷозибавӣ N_p , қувваҳои фишори гидростатикӣ N_h , соиш F_k , муфтаҳои F_c , пешгирӣ кардани шусташавӣ. Қувваи Архимед F_A дар нақшаи пешниҳодшуда баръало ба ҷудошавии зарра аз сатҳи воҳид мусоидат мекунад ва ба гурӯҳи якуми қувваҳо тааллуқ дорад, аммо бар хилофи онҳо, он ба таври амудӣ ба боло амал мекунад. Инфилтратсия дар ин ҷо бо истифода аз вектори суръати он u нишон дода шудааст.

Барои соддагӣ, мо тахмин мекунем, ки зарра дар се самти системаи координатаҳои росткунҷаи сеченака ба андозаи баробар аст. Пас майдонҳоро дар ҳар се самт бо аломати S нишон диҳем. Ҳаҷми зарраро бо V нишон медиҳем. Аз шартҳои мувозинати зарра дар сатҳи даҳана, ки дар шакли вектор (1) ва дар проексияи қувваҳоро ба самти мувофиқ ба нишебии даҳана (2), баробарии зеринро ба даст меорем:

$$P = F_k + F_c + F_A + F_\mu + F_h, \quad (1)$$

$$\rho V g \sin \alpha = k \rho V g \cos \alpha + c S + \rho_w V g - A \mu v \sqrt{S} - \rho_w v^2 S, \quad (2)$$

ки дар он ρ – зичии заррача, ρ_w – зичии об, k – коэффисиенти соиши лағжиши заррача, c – коэффитсиенти пайвастшавии он ба сатҳи даҳана, μ – коэффитсенти динамикии часпакии об, v – суръати ҷараёни об, ки ба заррача таъсир мекунад.

Мо тахмин мекунем, ки суръати ҷараёни об ба қадри кофӣ хурд аст, $v \approx 0$, то он ки онро сарфи назар кардан мумкин аст. Дар воқеъ, вайрошавии мавқеи мувозинати зарраҳо бе таъсири қувваҳои гидродинамикӣ рух дода метавонад. Пас баробарии (2)-ро ба шакли зерин овардан мумкин аст:

$$tg \alpha = k + \frac{c}{(\rho - \rho_w) g h \cos \alpha}, \quad (3)$$

ки дар он h андозаи хиссачаҳои хаттии хос аз ифодаи $V = hS$ мебошад. Барои заррачаи мукааб ин канори он, баландии он аст.

Ҳангоми ҳалли (3) барои $tg\alpha$, мо шарти зерини муҳимро барои вайроншавии устувории зарра ба даст меорем:

$$tg\alpha = \frac{k + b\sqrt{k^2 + 1 - b^2}}{1 - b^2}, \quad (4)$$

ки дар он номгузори қорӣ карда мешавад –

$$b = \frac{c}{(\rho - \rho_w)gh}.$$

Аз ибораҳои (3) ва (4) хулосаи табиӣ бармеояд, ки барои соиши бештар, яъне k , кунҷи оромии даҳана бузургтар, ба кунҷи рост наздиктар аст. Агар $b > 1$, шарти (4) конеъ нагардад, дар ягон кунҷ вайроншавии мувозинат ба вучуд намеояд – ҳангоми часпидани ниҳоят баланд, ё барои заррачаҳои хурди чанголуд устувории онҳо нигоҳ дошта мешавад. Барои хоки беҳамто, вақте $c = 0$, ва аз ин рӯ, $b = 0$, $tg\alpha = k$, яъне кунҷи оромшавӣ ба кунҷи соиши дохилӣ баробар аст – мувофиқи теоремаи маълум [15], аммо бо илова кардани ҳолати таркибии об. Аз (3) ҳолати табиӣ низ ба миён меояд: барои часпидашавии бештар кунҷи нишебӣ калонтар аст ва илова бар ин, андозаи зарраҳо ҳар қадар калонтар ва зичии он зиёдтар бошад, кунҷи оромии ҳунар ҳамон қадар хурдтар мешавад. Хулосаи охирин ба хулосаҳои таҳлили устувории сангҳо дар нишебҳои кӯҳ мувофиқ аст – ҳар қадар сангҳо калонтар бошанд, ҳамон қадар эҳтимолияти аз нишебӣ ба поён печиданашон зиёд мешавад [16]: дар қисмати поёнии нишеб сангҳои калонтар ҳамеша мешаванд. Ба поён ҳамвор шудани деворҳои даҳанаҳо ва ба шакли конусшакли минтақаи фуромадан ба шакли гулобшакл мубаддал шудани онро низ фаҳмонда метавонад (расми 2).

Чойгир кардани (4) арзишҳои хоси $k = 0,1 \div 0,3$ ва $c = 0 \div 50$ Н/м² барои хокҳои суст когезия [1-3, 11], бо назардошти фарқияти зичии байни зарраҳои хок об 1000 кг/м³ ва бо дарназардошти намудҳои мухталифи

таъсири мутақобилаи тамос байни зарраҳои хок [6, 11], мо ба арзишҳои зерини критикии кунҷи нишебӣ барои зарраҳои $h = 0,001$ м, мерасем, ки ба арзишҳои воқеан мушоҳидашуда мувофиқанд:

$$tg\alpha \approx 0,15 \div 0,90, \text{ т.е. } \alpha \approx 9^\circ \div 42^\circ.$$

Барои заррачаҳои хурдтар, масалан, бо $h = 0,001$ м, устуворӣ танҳо ҳангоми часпидан ба қадри кифоя паст – $0 \div 5$ Н/м² ва кунҷҳои нисбатан калони нишебӣ вайрон мумкин шавад.

Равандҳои термокарст

Равандҳои ба инобат гирифташудаи ташаккули даҳанаҳо дар минтақаи моренаи охири пиряхи РГО натиҷаи суффузия буданд. Дар ин минтақа ях ба нишебии дара ақиб мерафт. Аммо дар минтақаҳои болои морена, ки дар он ҷо даҳанаҳо ҳам ба вучуд меоянд, дар зеризаминӣ пайдошудани қабатҳои ях мушоҳида карда мешавад. Дар ин ҷо хокҳои яхкарда маъмуланд, ки аз ҷиҳати сохтор ноустувор ва пастшавӣ мебошанд [11]. Аз ин ру, дар ин қисми пиряхи РГО аслан даҳанаҳо ҳам пайдоиши термокарст буда метавонанд. Инчунин, чун дар ҳолати суффузия, депрессияҳои нисбатан хурд дар релеф метавонанд ҳамчун марказҳои ядроии даҳанаҳо амал кунанд, ки дар он об ҷамъ мешавад, ки тавассути қабати қум ворид шуда, ба ҷисми ях мерасад. Дар 0°C ҳолати мувозинати термодинамикии обҳои озод ва фраксияҳои ях вучуд дорад. Аммо дар баробари гармшудани ҳаво ҳарорати об баланд шуда, аз ҳарорати ях нисбатан баландтар мешавад, об мешавад ва ба ҳамин тарик об дар фраксияи ях ҷамъ мешавад. Робитаи мусбӣ ба вучуд меояд: гармӣ боиси обшавии об мешавад, зиёдшудани ҳаҷми об обшавии фаъол мегардад ва ғайра. Аз афташ, маҳз ҳамин гуна об даҳанаҳои қисмҳои болоии моренаи пиряхро пур мекунад (расми 1). Агар роҳҳои филтркунии об аз ҳаҷми яхи гудохта кушода шаванд, он гоҳ дар ин ҳаҷм термокарст ба вучуд меояд ва

минбаъд паст шудани қабати тунуки ҷинсҳои болои термокарст ба вучуд омадани даҳана мегардад.

Дар минтақаи фосилавии моренаи байни суффозия ва термокарст амали механизми омехтаи ташаккули ҷуякҳо интизор шудан мумкин аст. Ҳаракати қабатҳои болоии морена, аз афташ, бо фарқи коэффитсентҳои васеъшавии термикии ҷинсҳои ташкилкунандаи нишебӣ мусоидат кардан мумкин аст. Қобилияти гармӣ ва диффузияи гармии ҷинсҳои пӯшиш нисбат ба ях хеле баландтар аст. Аз ин рӯ, даври гардиши гармии офтоб метавонад давра ба давраи васеъшавӣ ва кашиши сарпӯшро ба вучуд оварад, ки боиси дар нишеби умумӣ ҷойгиршавии он гардад [17]. Чунин тағйирёбии ҳарорат дар сарпӯш метавонад яке аз механизмҳои асоси солифлюксияро нишон диҳад [1-4].

Хулоса

Мушоҳидаҳо дар мавзеи моренаи терминалии пирихи РГО дар Тоҷикистон нишон доданд, ки дар танаи морена шаклҳои релефӣ ба воҳимашакл ба вучуд меоянд. Фонелҳои диаметр ва чуқурии то якчанд даҳҳо метр сети гидродинамикиро ташкил медиханд. Дар минтақаи поёнии моренаи терминал, ки дар он ҷо ҷисмҳои ях вучуд надоранд, амали механизми суффозионии пайдоиши даҳанаҳо, дар минтақаи боло, ки ҷисмҳои ях мавҷуданд, амали механизми термокарст имконпазир аст ва дар минтақаи мобайнӣ кори ҳар ду механизм дар як вақт. Ҳисобҳои назариявӣ нишон доданд, ки таъсири қувваҳои ҷозиба, кашиш ва часпидани хокҳои морена, ҳадди аққал ба тахмини аввал, барои шарҳи дурусти натиҷаҳои мушоҳидаҳои сахроии пайдоиши даҳанаҳои он замина фароҳам меорад.

Адабиёт

1. Рычагов Г. И. Геоморфология. / Г. И. Рычагов // М.: «Юрайт», 2018. - 396с.
2. Лаврусевич А. А., Макеева Т. Г., Хоменко В. П. и др. Геоэкология. Учебное пособие. / А. А. Лаврусевич, Т. Г. Макеева, В. П. Хоменко // М.: АСВ, 2020. - 150 с.
3. Физические аспекты природных катастроф. Пер. с англ. / А. Е. Шейдеггер // М.: «Недра», 1981. - 232 с.
4. Encyclopedia of Ice, Snow and Glaciers. / Singh V. P., Singh P., Haritashia U. K. (Eds.). // Dordrecht: Springer, 2011. - 1253 p.
5. Патэрсон У. С. Физика ледников. Пер. с англ. / У. С. Патэрсон // М.: «Мир», 1984. - 312 с.
6. Осипов В. И. Физико-химическая теория эффективных напряжений в грунтах. / В. И. Осипов // М.: ИФЗ РАН, 2012. - 74 с.
7. Marot D., Benamar A. Suffusion, transport and filtration of fine particles in granular soil. / D. Marot, A. Benamar // Erosion of geomaterials, Edited by S. Boneli, Publisher: Wiley-ISTE. 2012. - P. 39–79.
8. Wewer M., Aguilar-López J.P., Kok M., Bogaard T. A transient backward erosion piping model based on laminar flow transport equations. / M. Wewer, J.P. Aguilar-López, M. Kok, T. Bogaard // Computers and Geotechnics. V. 132. № 103992. - 2021.
9. Kodieh R., Gelet D., Marot A., Fino Z. A study of suffusion kinetics inspired from experimental data: comparison of three different approaches. / R. Kodieh, D. Gelet, A. Marot, Z. Fino // Acta Geotechnica. V. 16 (2). 2021. - P. 347–365.
10. Пильгуй Ю. Н., Саидов М. С., Хомидов А. Ш., Шакирджанова Г. Н. Ледники Таджикистана в условиях изменения климата. / Ю.Н. Пильгуй, М.С. Саидов, А.Ш. Хомидов, Г.Н. Шакирджанова // Душанбе: НИЦ

Агентства по землеустройству, геодезии и картографии при Правительстве РТ, 2008. - 116с.

11. Котляков В. М., Десинов Л. В., Осипова Г. Б., Хаузер М., Цветков Д. Г., Шнайдер Ж. Ф. События 2002 года на леднике Географического общества (РГО), Памир. / В.М. Котляков, Л. В. Десинов, Г. Б. Осипова, М. Хаузер, Д. Г. Цветков, Ж.Ф. Шнайдер // Материалы гляциологических исследований, вып. 95, 2003. - С. 221-230.

12. Каримов Ф. Х. Особенности геоморфологии краевой морены ледника РГО в Таджикистане. / Ф. Х. Каримов // Труды ИГССС НАН Т, вып. 4, 2022. - С. 244-255.

13. Каримов Ф. Х. Моделирование медленно движущихся и пульсирующих ледников. / Каримов Ф. Х. // Вестник Национального университета Таджикистана, Серия естественных наук (Паёми Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, Бахши илмҳои табиӣ), ¼ (168), 2015. - С. 260-266.

14. Саидов М. С., Файратов М. Т., Давлатов Ф. С., Каримов Ф. Х. Пиряхшиносии умумӣ (китоби дарсӣ) / Общее ледниковедение (учебное пособие). / М. С. Саидов, М. Т. Файратов, Ф. С. Давлатов, Ф. Х. Каримов // Душанбе: «Нушбод», 2021. - 124 с.

15. Цытович Н. А. Механика грунтов. / Н.А. Цытович // М.: «Высшая школа», 1979. - 272 с.

16. Каримов Ф. Х. О грансоставе пород на эродированных горных склонах. / Каримов Ф. Х. // Наука и инновация. Серия геологических и технических наук (Илм ва инноватсия. Бахши илмҳои геологӣ ва техникӣ). Душанбе: ТНУ, №3, 2019. - С. 49-57.

17. Каримов Ф. Х. К физическим механизмам эрозии горных пород. / Ф. Х. Каримов // Материалы научно-теоретической международной конференции «Философия математики, естествознания и образования:

проблемы и перспективы». Курган-Тюбе: Курган-Тюбинский Госуниверситет им. Носира Хисрава, 2012. - С. 239-248.

Ф. Х. КАРИМОВ, М. З. ДАВЛЯТОВА

ДЕГРАДАЦИЯ МОРЕНЫ ЛЕДНИКА РГО В ТАДЖИКИСТАНЕ

Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии

НАНТ seismtadj@rambler.ru

Аннотация: на основе известных представлений инженерной геологии, гидрологии и гидрогеологии дан анализ природы воронок, образовавшихся в морене ледника РГО в Таджикистане. Для нижней зоны морены представлен суффозионный механизм, а для верхней – термокарстовый. Получены аналитические условия для образования воронок морены РГО.

Ключевые слова: ледник, морена, суффозия, термокарст, фильтрация, эрозия грунтов.

F. H. KARIMOV, M. Z. DAVLYATOVA

DEGRADATION OF THE MORaine OF THE RGO GLACIER IN TAJIKISTAN

Institute of Geology, Earthquake-Resistant Construction and Seismology of the NAST

seismtadj@rambler.ru

Abstract: based on well-known concepts of engineering geology, hydrology and hydrogeology, an analysis of the nature of craters formed in the moraine of the RGO glacier in Tajikistan is given. A suffusion mechanism is presented for the lower zone of the moraine, and a thermokarst mechanism for the upper one. Analytical conditions for the formation of craters of the RGO moraine have been obtained.

Keywords: glacier, moraine, suffusion, thermokarst, filtration, soil erosion.

МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН:

Каримов Фаршед Ҳилолович - доктори илмҳои физика ва математика, мудири озмоишгоҳи Институди геология, сохтмони ба заминчунбӣ тобовар ва сейсмологияи АМИТ,

Суроға: 734063, Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш. Душанбе, кӯчаи Айни, 267. Телефон: (+8-992) 935 55 84 00. E-mail: fhkarim@mail.tj

Давлятова Малоҳат Зухуровна - магистрант, ходими хурди илмӣ. Институди геология, сохтмони ба заминчунбӣ тобовар ва сейсмологияи АМИТ,
Суроға: 734063, Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш. Душанбе, кӯчаи Айни, 267.
Телефон: (+8-992) 937 04 04 50. E-mail: dmlokhat00@mail.ru

УДК 551.324.2+556

А. М. КЕРИМОВ, О. А. КУРАШЕВА

**СРАВНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ЛЕДНИКАХ
И РЕЧНЫХ ВОДАХ ЦЕНТРАЛЬНОГО КАВКАЗА**

«Высокогорный геофизический институт»

г. Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия;

oks.anchik@mail.ru

***Аннотация.** Ледники в горных районах являются аккумуляторами атмосферной влаги и одновременно одним из основных источников питания главных рек Кавказа и являются перспективными источниками пресной воды. Цель работы: дать пространственно-временную характеристику распределения концентрации тяжелых металлов (ТМ) в ледниках Гарабаши, Безенги и Мижирги, а также в речных водах ледникового питания Баксан и Черек Безенгийский. Определены концентрации следующих ТМ, современных приоритетных загрязнителей окружающей природной среды: Cr, Ni, Mo, Mn, Pb, Zn, Ag, Cu, Cd.*

***Ключевые слова:** Северный Кавказ, ледник Гарабаши, ледник Безенги, ледник Мижирги, ледниковый сток, тяжёлые металлы.*

Введение. Для горных районов с современным оледенением снеговой и ледниковый сток составляют значительную долю водного баланса горных рек [9]. Доля ледникового питания речных вод региона в летний период достигает 40–70 % [4].

Основная доля снегового и ледникового стока из гляциальной зоны, соответствует теплomu периоду года, когда наибольшая потребность в пресной воде для отраслей экономики [5].

Материалы и методы исследований. Определение содержания ТМ в пробах льда, и речных вод выполнялось с 1999 г. по 2010 г. в Высокогорном геофизическом институте методом эмиссионного

спектрального анализа [1]. Анализ проб 2012–2021 гг. производились атомно–абсорбционным методом на спектрометре МГА–915 [8].

Результаты исследований и их обсуждение. Систематические исследования химического состава ледников Центрального Кавказа проводятся нами с конца 70-х годов прошлого столетия [2]. В этих работах основное внимание уделялось содержанию тяжелых металлов - приоритетных загрязнителей окружающей среды Cd, V, Pb, Cr, Ni, Sn и т.д. в ледниках. Нами проводятся работы по определению химического состава атмосферных осадков, снежного покрова, ледников и речных вод ледникового питания на Центральном Кавказе [6].

С 1999 по 2010 гг. проводились массбалансовые и геохимические исследования на южном склоне Эльбруса на эталонном леднике Гарабаши. Пробы снега на содержание ТМ отбирались на леднике из шурфов к моменту максимального снегонакопления (середина июня) и к концу абляции (середина сентября) на абсолютной высоте 4000 м. В это время производился и отбор проб речных вод долины реки Баксан от его истоков до выхода на равнину – на протяжении 100 км.

В работе [6] проведен сравнительный анализ концентрации ТМ в реках ледникового питания – Гарабаши, Азау и Терскол, являющихся истоком реки Баксан и в зоне аккумуляции ледника Гарабаши.

В конце июля 2003 г. были взяты пробы различной категории (лед, талые воды на поверхности ледника) на леднике Безенги. Как и в Эльбрусских пробах, большим содержанием выделяется Zn. Встречаются пробы льда с концентрацией Zn в 600 мкг/л, а талая вода с поверхности ледника с содержанием в 5000 мкг/л. Таких концентраций Zn ни в ледниках Эльбруса, ни в речных водах ледникового питания Приэльбрусья не обнаружено. В таблице приведены эпизодические концентрации тяжелых металлов в пробах снега из шурфов на уровне

4000 м и пробах льда упомянутых выше ледников за период с 1999 по 2021 гг.

Таблица 1.

**Концентрации тяжелых металлов в пробах снега и льда, мкг/л,
1999–2021 гг.**

Категория проб	Cr	Ni	Mo	Mn	Pb	Zn	Cu	Год
Гарабаши, снег Н _{абс} =4000 м	1,184	1,184	0,135	2,02	0,766	4,771		Июнь 1999
	4,94	2,28	–	6,94	2,35			Июнь 2004
	0,817	1,019	–	3,164	0,764	22,368		Июнь 2009
	0,355	0,603	0,223	6,196	0,845	3,34		Июнь 2021
Безенги, лед Н _{абс} =2300 м	4,17	1,17	–	6,17	2,29	594,33	–	Август 2003
	6,69	2,57	–	10,04	0,90	67,65	–	Август 2009
	10,88	2,65	0,28	10,48	3,78	50,89	–	
	1,77	0,89	–	6,01	0,50	6,21	–	Сентябрь 2010
	1,16	0,99	0,30	4,31	1,20	18,03	–	
	1,35	0,61	0,19	2,51	1,63	12,96	–	Сентябрь 2012
	1,03	156,49	0	8,41	2,30	3050,56	679,42	
	0,61	15,81	0	6,79	6,03	4164,0	568,25	
	0,52	18,91	0	6,38	1,95	3224,80	575,42	
	3,6	–	–	17	–	–	–	Февраль 2019
Мижирги, лед Н _{абс} =2800 м	11,43	3,48	0,31	9,45	1,70	12,57	–	Август 2006
	12,31	5,46	0,28	13,74	5,21	41,79	–	
	5,13	8,35	0,42	9,87	3,13	72,86	–	Сентябрь 2012
	0,71	18,99	0	11,39	2,08	150,35	64,91	
	1,76	36,70	0	22,89	0,53	1377,31	150,94	
	0,79	29,94	0,03	16,64	3,68	6512,12	777,84	

Содержание ТМ в пробах льда на леднике Мижирги за 2006 г. для Ni, Mo, Pb ниже их ПДК. Cr, Mn, Zn содержатся в некоторых пробах выше ПДК. В пробах 2012 г. содержание Cr, Mo ниже ПДК. Ni, Mn и Pb содержатся в порядке ПДК и несколько выше. Только Zn и Cu, как и в леднике Безенги содержатся в концентрациях, превышающих ПДК в сотни раз. Говоря об источниках поступления ТМ в ледник Мижирги, следует отметить, что они идентичны с ледником Безенги. Геологическое строение и климато-метеорологические условия их достаточно схожи. Содержание Mn и Zn на расстоянии 5–7 км от языков этих ледников в реке Черек Безенгийский существенно не превышают ПДК. Вероятно, взвеси содержащиеся в талых

водах эти ТМ выпадают в осадок, а также идет разбавление ледниковых вод подземными и родниковыми водами.

Сравнение концентрации ТМ с языковых частей ледников Гарабаши, Мижирги и Безенги показывает, что Cr, Ni, Pb почти на порядок больше содержатся в ледниках Черекского ущелья. Mn и Zn в некоторых пробах одного порядка, но в основном в Безенги и Мижирги и их содержание в 1,5–2 раза превышает их концентрации в леднике Гарабаши [7]. Такое высокое содержание указанных ТМ по мнению авторов -- влияние горных пород района, где находятся эти ледники. Но, следует отметить, что выявлена общая тенденция уменьшения концентрации тяжелых металлов в снежно-фирновой толще и в речных водах в последнее время. Во многих пробах концентрации ТМ меньше предела определения при определении методом атомно-абсорбционного анализа на МГА-915 (2019–2021 гг.). То, что некоторые авторы утверждают, что основным источником поступления тяжелых металлов в реки горной части, являются дренируемые горные породы не полностью характеризуют содержание тяжелых металлов в ледниках и речных водах. Важный вклад в содержание тяжелых металлов вносится при самоочищении атмосферы при выпадении осадков и сухом выпадении аэрозолей.

По нашим расчетам, на поверхность ледника на южном склоне Эльбруса на абсолютной высоте 4000 м выпадает около $6 \cdot 10^3 - 7 \cdot 10^3$ кг/км² макропримесей и $10^{-1} - 10^1$ кг/км² ТМ. Такие концентрации тяжелых металлов на порядок, а для некоторых из них и на два порядка меньше их ПДК. Химический состав речных вод ледникового питания у истоков близок к химическому составу снежно-ледниковой толщи. Речные воды по своему макро составу в верховьях относятся к ультрапресным (до 180 мг/л). Вниз по течению качество вод ухудшается [3].

Выводы

1. Представлены результаты анализа проб льда, снега и речных проб на содержание тяжелых металлов в разных ледниках и речных водах Центрального Кавказа.

2. Пробы из языков ледников Безенги, Мижирги и р. Черек Безенгийский, отличаются повышенным содержанием ТМ, что в основном объясняется режимом питания ледника (снежные лавины и ледяные обвалы). Следует отметить, что содержание Mn и Zn на расстоянии 5–7 км от языков этих ледников в реке Черек Безенгийский существенно не превышают ПДК.

3. Полученные результаты выявили, что концентрации тяжелых металлов в сезонной снежной толще ледниках и в речных водах ледникового питания у их истоков, как правило, на один-два порядка ниже предельно допустимой концентрации для водоемов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения и могут быть использованы хозяйственных потребностей. Но в предгорной зоне они подвергаются сильному антропогенному воздействию и содержание некоторых тяжелых металлов превышают в десятки раз их ПДК.

Литература

1. Бурцев И. И., Бурцева Л. В., Воробьева Т. И. Методика определения микроэлементов в природных объектах при проведении геофизических исследований // Тр. Высокогорного геофизического института. 1980. Вып. 45. С. 51–66.

2. Воробьева Т. И. Керимов А. М., Содержание тяжелых металлов в ледниках Центрального Кавказа (Адырсу, Уллукол) и Центрального Памира (Памирское фирновое плато). Труды ВГИ, №73,1988. С. 76-92..

3. Керимов А. М., Долова М. Л., Курашева О.А. Влияние хозяйственных объектов на качество поверхностных вод Кабардино-

Балкарской Республики / Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. М.:ИИЕТ РАН. – 2019. – Т. IX. – С. 627-633.

4. Керимов А. М., Зильберман П. Ф., Рототаева О. В., Черняк М.М., Хмелевской И. Ф. Оценка влияния макрокомпонентов, содержащихся в ледниках Приэльбрусья, на химический состав речных вод бассейна реки Баксан // МГИ № 102. 2007. С.147-153.

5. Керимов А. М., Курашева О. А. Деградация оледенения Центрального Кавказа с конца XIX века и характеристика химического состава речных вод ледникового питания / Сборник статей, посвященный 100-летию со дня образования Гидрохимического института, «Современные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод». Часть 1. – Ростов-на-Дону, 2020. – С. 59–64.

6. Керимов А. М., Курашева О. А. Сравнительный анализ концентраций тяжёлых металлов в истоках реки Баксан и леднике Гарабаши (южный склон Эльбруса). Журнал «Известия ДГПУ. Естественные и точные науки». Т. 12. №1. 2018. С. 49-56.

7. Керимов А. М., Рототаева О. В., Хмелевской И. Ф. Распределение тяжелых металлов в поверхностных слоях снежно-фирновой толщи на южном склоне Эльбруса. Лед и снег, №2 (114), 2011. С. 24-34.

8. Методика измерений массовой концентрации алюминия, бария, бериллия, ванадия, железа, кадмия, кобальта, лития, марганца, меди, молибдена, мышьяка, никеля, свинца, селена, серебра, стронция, титана, хрома, цинка, в пробах природных и сточных вод атомно-абсорбционным методом с электротермической атомизацией с использованием атомно-абсорбционного спектрометра модификаций МГА-915, МГА-915М, МГА-915МД. ННДФ 14.1:2.253-09 (М 01-46-2016). Москва, 2013. 36 с.

9. Панов В. Д. Эволюция современного оледенения Кавказа. Гидрометеоиздат. Санкт-Петербург. 1993, 431с.

A. M. KERIMOV, O. A. KURASHEVA

COMPARISON OF HEAVY METAL CONTENT IN GLACIERS AND RIVER WATERS OF THE CENTRAL CAUCASUS

*High-Mountain Geophysical Institute, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic,
Russia; e-mail: oks.anchik@mail.ru*

Annotation. *Glaciers in mountainous areas are accumulators of atmospheric moisture and at the same time one of the main sources of feeding the main rivers of the Caucasus and are promising sources of fresh water. Purpose of the work: to give a spatial and temporal characterization of heavy metal (HM) concentration distribution in Garabashi, Bezenghi and Mizhirgi glaciers, as well as in glacier-fed river waters of Baksan and Cherek Bezenghi. Concentrations of the following HMs, current priority pollutants of the natural environment, were determined: Cr, Ni, Mo, Mn, Pb, Zn, Ag, Cu, Cd.*

Key words: North Caucasus, Garabashi Glacier, Bezenghi Glacier, Mizhirgi Glacier, glacial runoff, heavy metals.

A. M. КЕРИМОВ, О. А. КУРАШЕВА

МУҚОИСАИ ТАРКИБИ МЕТАЛЛҲОИ ВАЗНИН ДАР ПИРЯХҲО ВА ОБҲОИ ДАРЁҲОИ КАВКАЗИ МАРКАЗИ

*Институти геофизикии Алп, Налчик, Чумҳурии Кабардину Балкар, Русия
Почтаи электронӣ: oks.anchik@mail.ru*

Аннотатсия. *Пиряхҳои ноҳияҳои кӯҳсор аккумулятори намии атмосфера ва дар айни замон яке аз манбаъҳои асосии қувваи дарёҳои асосии Кавказ буда, манбаъҳои перспективии оби тоза мебошанд. Мақсади кор: шарҳ додани хусусияти фазо - вақтии тақсимоти консентратсияи металлҳои вазнин (ХМ) дар пиряхҳои Гарабашӣ, Безенги ва Мижирги, инчунин дар обҳои дарёҳои пиряхҳои Баксан ва Черек Безенги. Консентратсияи НМ-ҳои зерин, ифлоскунандаҳои афзалиятноки муҳити зист муайян карда шуданд: Cr, Ni, Mo, Mn, Pb, Zn, Ag, Cu, Cd.*

Калидвожаҳо: Кавкази Шимолӣ, пиряхи Гарабашӣ, пиряхи Безенгӣ, пиряхи Мижиргӣ, оби пиряхҳо, металлҳои вазнин.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Керимов Абдуллах Мухаметович, ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник отдела стихийных явлений тел. 8-903-494-42-62; e-mail: kerimov.a.m.@mail.ru

Курашева Оксана Альбертовна, ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», младший научный сотрудник лаборатории гляциологии, отдел стихийных явлений. тел. 8-967-421-56-36; e-mail: oks.anchik@mail.ru

Работа выполнена в ФГБУ «Высокогорный геофизический институт»

360030, Россия, КБР, г. Нальчик, пр. Ленина, 2. Телефон: +7 (8662) 40-19-16.

Барои муаллифон

Қоидаҳои омода намудани мақолаҳои, ки ба маҷаллаи «КРИОСФЕРА»-и Муассисаи давлатии илмӣ «Маркази омӯзиши пиряхҳои Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон» барои нашр пешниҳод мешаванд

Маҷаллаи «КРИОСФЕРА»-и Муассисаи давлатии илмӣ «Маркази омӯзиши пиряхҳои Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон» натиҷаҳои асли ва муҳимтарини таҳқиқоти илмиро дар соҳаи криосфера, пиряхшиносӣ, иқлимшиносӣ, метеорология, гидрология, экология ва санитария инъикос мекунад.

Тартиби мақола

Мақола бояд мухтасар навишта, хуб таҳрир ва бодикқат тафтиш карда шавад. Дастнавис бояд ба забони тоҷикӣ, русӣ ё англисӣ ҳамчун файл дар формати MS Word (.doc ё .docx), бо шрифти стандартии Times New Roman, андозаи ҳуруфи 14, бо фосилаи якуним сатр пешниҳод карда шавад.

Ҳадди ниҳии иҷозатдодашудаи мақола 14 саҳифа ё 40 000 аломат бо шумули фосилаҳо мебошад. Ҳангоми муайян кардани ҳаҷми мақола аксҳо низ ба инобат гирифта мешаванд (акс дар як саҳифа ба 1800 аломат баробар аст). Ҳаҷми мақолаҳои фармоиширо ҳаёти таҳририя муайян мекунад.

Сатрҳо дар як сарҳат набояд дастӣ тарҷума карда шаванд (вориди “наrm”, фосилаҳо, ҷадвалҳо ва ғ.). Аломати охири сарҳат (¶ - «Enter») танҳо дар охири сарҳат ҷойгир карда мешавад.

Дар байни калимаҳо зиёда аз як фосила гузошта намешавад, дар дохили калимаҳо фосила истифода намешавад, сатрҳо бо истифода аз сарҳатҳо гузаронида мешаванд, аломатҳои китобатино бо фосила аз калимаи қаблӣ ҷудо накунад. Дар калимаҳо набояд дефис бошад.

Дар аввали мақола бо забони аслии мақола инҳо аз сарҳат навишта мешаванд:

- Рақами таснифоти универсалии даҳӣ (УДК)
- Ном ва насаб (бо ҳарфҳои калон)
- Номи мақола (бо ҳарфҳои калон)
- Номи ташкилоте, ки кор дар он иҷро шудааст (муаллифи аввал)
- Фишурда (150-250 калима)
- Калидвожаҳо (2-5 калима)
- Дар охири мақола маълумот бо забони англисӣ ва тоҷикӣ мунтазам оварда мешавад.

Мақола бояд дар бар гирад:

- Сарсухани мухтасар
- Ҳадафи омӯзиш
- Мавод ва тарзи таҳқиқот
- Натиҷаҳои таҳқиқот ва муҳокимаи онҳо
- Хулосаҳо
- Рӯйхати адабиёт

Файл бо матни мақола бояд маълумоти зеринро дар бораи **муаллиф(ҳо) дошта бошад:**

- Рӯйхати пурраи муаллифон (Ном ва насаб). Қайд намудан лозим аст, ки кадоме аз муаллифон барои мукотиба масъуланд.
- Ҷойи асосии кори ҳар як муаллиф (агар вучуд дошта бошад) дар парвандаи номзадӣ, вазифаи ишғолкарда, дараҷаи илмӣ, унвони муаллиф(ҳо). Агар муаллифон дар ташкилот и гуногун кор кунанд, пас бояд маълум бошад, ки кадоме аз онҳо дар кадом муассиса кор мекунад. Агар ҳамаи муаллифони мақола дар як муассиса кор ё таҳсил кунанд, ҷойи кори ҳар як муаллифро алоҳида қайд намудан лозим нест.
- Суроғаи электрони муаллифе, ки барои мукотиба масъул аст.

Намунаи тартиби сарлавҳаи расмӣ – Акси. 1. Номи акс (дар марказ воқеъ мегардад)

Рас. 2. Номи акс. (Times New Roman, андоза 12)

Ҷадвалҳо ва формулаҳо

Тартиб додани формулаҳо, ҷадвалҳо, диаграммаҳо бо истифода аз панели асбобҳои стандартӣ анҷом дода мешавад.

Намунаи тарҳрезии сарлавҳаи ҷадвал.

Ҷадвали 1.

Номи ҷадвал. (дар болои ҷадвал, дар марказ ҷойгир мешавад)

Ҷадвали 2

Номи ҷадвал

Дар поёни ҷадвал пайванд ба манбаи асосӣ гузошта мешавад.

Рӯйхати адабиёт

Рӯйхати адабиёт бояд маълумоти адабиётхоро дар бораи нашрияҳои дар мақола зикршуда дар бар гирад ва истинод ба нашрияҳои дар бар нагирад, ки дар матн оварда нашудаанд. Истинодҳо ба маводи нашрнашуда иҷозат дода намешавад. Истинодҳо бо забонҳои хориҷӣ дар шакли аслии худ боқӣ мемонанд.

Истинодҳо ба адабиёти иқтибосшуда дар қавсҳои мураббаъ оварда мешаванд, масалан: [1], [1,3-5]. Рӯйхати истинодҳо дар рӯйхати умумӣ (таҳти сарлавҳаи «Адабиёт») бо тартиби дар матн оварда шуда, тартиб дода мешавад:

Барои китобҳо: ном ва насаб, номи пурраи китоб, ҷойи нашр, ношир, соли нашр, ҷилд ва ё шумораи нашр, шумораи умумии саҳифаҳо.

Барои нашрияҳои даврӣ: ном ва насаб, номи нашр, соли нашр, ҳаҷм, шумора, саҳифаҳои аввал ва охири мақола:

Пеш аз ҷойи нашр – тире , инчунин дар байни ҷойи нашр ва ношир тире гузошта мешавад, пеш аз соли чоп - вергул ва пеш аз номи маҷалла тире гузошта мешавад

Масалан:

1. Долгушин Л. Д., Осипова Г. Б. Природа Мира. Ледники. – М.: Мысль, 1989, -448 с.

2. Котляков В. М. Подвижки ледников Памира в первые 20 лет XXI века / В. М. Котляков, Л. В. Десинов, С. Л. Десинов, В. А. Рудаков // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. – 2020. – Т. 495. – № 1. – С. 64-68. – DOI 10.31857/S2686739720110080.

Для авторов

Правила оформления статей, представленных в журнал «КРИОСФЕРА» Государственного научного учреждения «Центр изучения ледников Национальной академии наук Таджикистана» для публикации

Журнал «КРИОСФЕРА» Государственного научного учреждения «Центр изучения ледников Национальной академии наук Таджикистана» освещает оригинальные и наиболее существенные результаты научных исследований в области криосферы, гляциологии, климатологии, метеорологии, гидрологии, экологии и санитарии.

Оформление статьи

Статья должна быть написана в сжатой форме, хорошо отредактирована и тщательно проверена. Рукопись должна быть представлена на таджикском, русском или английском языке в виде файла в формате MSWord (.doc или .docx), стандартным шрифтом Times New Roman, кегль 14, с полуторным междустрочным интервалом.

Максимально допустимый объем статьи составляет 14 страниц или 40000 знаков включая пробелы. Рисунки также учитываются при объеме статьи (рисунок на одну страницу приравнивается к 1800 знакам). Объем заказных статей определяется редколлегией.

Строки внутри одного абзаца не должны переводиться вручную («мягкий» ввод, пробелы, табуляции и пр.). Символ конца абзаца (¶ - «Enter») ставится только в конце абзаца.

Не набирать более одного пробела между словами, не делать разрядку пробелами внутри слова, смещение абзацев делать с помощью абзацных отступов, не отделять знаки пунктуации пробелами от предшествующего слова. Переносы в словах должны отсутствовать.

В начале статьи на языке оригинала указываются с красной строки:

- Номер по Универсальной десятичной классификации (УДК)
- Инициалы и фамилия автора (строчными буквами)
- Названиестатьи (строчными буквами)
- Название организации в которой выполнялась работа (*первого автора*)
- Краткая аннотация (150-250слов)
- Ключевые слова (3 - 5).
- В конце статьи в той же последовательности информация приводится на английском и таджикском языках.

Статья должна содержать:

- Краткое введение
- Цель исследования
- материалы и методы исследования
- результаты исследования и их обсуждение
- выводы
- список литературы

Файл с текстом статьи должен содержать следующие **сведения об авторе(ах)**:

- Полный список авторов (инициалы и фамилии). Необходимо указать, кто из

авторов ответственен за переписку.

- Основное место работы каждого автора (если таковое имеется) в именительном падеже, занимаемая должность, ученая степень, звание автора(ов). Если авторы работают в разных организациях, то должно быть понятно, кто и в какой именно организации работает. Если все авторы статьи работают или учатся в одном учреждении, можно не указывать место работы каждого автора отдельно.

- Адрес электронной почты автора, ответственного за переписку.

Пример оформления под рисуночной подписи Рис. 1. **Название рисунка.** (располагается по центру)

Рис. 2. Название рисунка. (Times New Roman, кегль 12)

Таблицы и формулы

Оформление формул, таблиц, схем осуществляется с помощью стандартной панели инструментов.

Пример оформления заглавий таблиц,

Таблица 1.

Название таблицы. (располагается над таблицей, по центру)

Таблица 2

Название таблицы.

Под таблицей обозначается ссылка на основной источник.

Список литературы

Список литературы должен содержать библиографические сведения обо всех публикациях, упоминаемых в статье и не содержать указаний на работы, на которые в тексте нет ссылок. Ссылки на неопубликованные работы не допускаются. Ссылки на иностранных языках остаются в оригинальном варианте.

Ссылки на цитируемую литературу даются в квадратных скобках, например: [1], [1,3-5]. Список литературы приводится общим списком (под заголовком «Литература») в порядке упоминания в тексте и оформляется следующим образом:

Для книг: фамилия и инициалы автора, полное название книги, место издания, издательство, год издания, том или выпуск, общее количество страниц.

Для периодических изданий: фамилия и инициалы автора, название издания, год издания, том, номер, первая и последняя страницы статьи:

Перед местом издания ставится тире, между местом издания и издательством - двоеточие, перед годом издания - запятая, перед названием журнала - тире.

Например:

1. Долгушин Л. Д., Осипова Г. Б. Природа Мира. Ледники. – М.: Мысль, 1989, -448 с.

2. Котляков В. М. Подвижки ледников Памира в первые 20 лет XXI века / В. М. Котляков, Л. В. Десинов, С. Л. Десинов, В. А. Рудаков // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. – 2020. – Т. 495. – № 1. – С. 64-68. – DOI 10.31857/S2686739720110080.

For authors

Rules for article configuration submitted to the journal “CRYOSPHERE” of the State Scientific Institution “Center for Glacier Research of the National Academy of Sciences of Tajikistan” for publication

The journal “Cryosphere” of the State Scientific Institution “Center for Glacier Research of the National Academy of Sciences of Tajikistan” covers original and most significant results of scientific research in the field of cryosphere, glaciology, climatology, meteorology, hydrology, ecology and sanitation.

Article configuration

The article should be written in a concise form, well edited and carefully checked. The manuscript should be submitted in Tajik, Russian or English as a file in MS Word format (.doc or .docx), in standard Times New Roman font, 14 point font, with one and a half line spacing.

The maximum allowed length of the article is 14 pages or 40000 characters including spaces. Figures are also taken into account in the volume of the article (a figure per page is equal to 1800 characters). The volume of commissioned articles is determined by the editorial staff.

Lines within a paragraph should not be entered manually (“soft” input, spaces, tabs, etc.). The end-of-paragraph symbol (¶ - “Enter”) should be placed only at the end of a paragraph.

Do not type more than one space between words, do not space within a word, do not indent paragraphs with paragraph indents, do not separate punctuation marks with spaces from the preceding word. There should be no hyphenation in words.

The beginning of the article in the original language is indented:

- Universal Decimal Classification (UDC) number.
- Author's initials and surname (capital letters.)
- Title of the article (capital letters).
- Name of the organization where the work was completed (first author).
- Short abstract (150-250 words).
- Key words (3 - 5).
- At the end of the article, information is provided in English and Tajik in the same sequence.

The article should contain:

- short introduction.
- research objective.
- materials and methods of research.
- research results and discussion.
- Conclusion.
- list of references.

The file with the text of the article should contain the following information about the author(s):

- Full list of authors (initials and surnames). It is necessary to indicate which of the authors is responsible for the correspondence.
- The main place of work of each author (if any) in nominative case, position held, academic degree, title of the author(s). If the authors work in different organizations, it should be clear who works in which organization. If all authors of the article work or study in the same institution, it is possible not to indicate the place of work of each author separately.
- E-mail address of the author responsible for correspondence.

Example of drawing caption. Figure 1. Title of the figure. (centered). Figure title. (placed in the center)

Figure 2. Title of the figure. (Times New Roman, font size 12)

Tables and formulas

Formulas, tables and schemes are organized using the standard toolbar.

Example of table titles,

Table 1.

Table title. (placed above the table, centered)

Table 2

Table title

A reference to the main source is indicated under the table.

List of references.

The reference list should contain bibliographic information about all publications mentioned in the article and should not contain references to works that are not cited in the text. References to unpublished works are not allowed. References in foreign languages remain in the original version.

References to the cited literature are given in square brackets, e.g.: [1], [1,3-5]. The list of references is given in a general list (under the heading "Literature") in the order of mentioning in the text and is arranged as follows:

For books: author's surname and initials, full title of the book, place of publication, publisher, year of publication, volume or issue, total number of pages.

For periodical publications: surname and initials of the author, title of the publication, year of publication, volume, number, first and last pages of the article:

A dash is placed before the place of publication, a colon between the place of publication and the publisher, a comma before the year of publication, and a dash before the name of the journal.

For example:

1. Долгушин Л. Д., Осипова Г. Б. Природа Мира. Ледники. – М.: Мысль, 1989, -448 с.

2. Котляков В. М. Подвижки ледников Памира в первые 20 лет XXI века / В. М. Котляков, Л.В. Десинов, С. Л. Десинов, В. А. Рудаков // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. – 2020. – Т. 495. – № 1. – С. 64-68. – DOI 10.31857/S2686739720110080.

«КРИОСФЕРА»

Муҳаррир: М. Кенчаев
Ороишгар: Х. Д. Наврузшоев
Мусахҳеҳ: Н.С. Норова