



UDK: 911.2+ 528.8.041.2(528.852.8)

Muxriddin AVEZOV,

O'zbekiston Milliy universiteti Tabiiy geografiya kafedrasida dotsenti, PhD

E-mail: muxriddin_avezov@mail.ru

Banu DOSKENOVA,

Manash Qo'ziyoyev nomidagi Shimoliy Qozog'iston universiteti Ekologiya va geografiya kafedrasida mudiri, b.f.n

Aziza ELMUROTOVA,

O'zbekiston Milliy universiteti mustaqil izlanuvchisi

O'zMPU dotsenti, g.f.n Z.Amanbayeva taqrizi asosida

GLOBAL IQLIM O'ZGARISHI SHAROITIDA NDSI XARITALARI YORDAMIDA SAMARQAND VILOYATI QOR QOPLAMI DINAMIKASINI O'RGANISH

Annotatsiya

Mazkur maqolada muzliklar va qor qoplamining Yer iqlim tizimi va inson hayotidagi ahamiyati hamda iqlim o'zgarishi ta'sirida ularning jadal qisqarib borishi tahlil qilingan. Ushbu o'zgarishlar natijasida Dunyo okeani sathi va global iqlim jarayonlarida yuz berayotgan o'zgarishlar yoritilgan. Shuningdek, muzliklar va qor qoplamini monitoring qilishda sun'iy yo'ldosh ma'lumotlaridan foydalanish imkoniyatlari ko'rib chiqilgan. Xususan, Landsat tasvirlari asosida Samarqand viloyati misolida 2000–2025-yillar uchun NDSI (qor qoplamining normallashtirilgan farq indeksi) xaritalari GAT texnologiyalari yordamida ishlab chiqilgan.

Kalit so'zlar: iqlim, o'rtacha harorat, muzlik, kriosfera, qor qoplami, NDSI, yog'inlar, Dunyo okeani, GAT.

ИЗУЧЕНИЕ ДИНАМИКИ СНЕЖНОГО ПОКРОВА САМАРКАНДСКОЙ ОБЛАСТИ С ПОМОЩЬЮ КАРТ NDSI В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Аннотация

В данной статье анализируется значение ледников и снежного покрова в климатической системе Земли и в жизни человека, а также рассматривается их ускоренное сокращение под влиянием изменения климата. Освещены изменения, происходящие в уровне Мирового океана и в глобальных климатических процессах в результате этих трансформаций. Кроме того, рассмотрены возможности использования спутниковых данных для мониторинга ледников и снежного покрова. В частности, на основе спутниковых снимков Landsat с применением ГИС-технологий разработаны карты NDSI (нормализованный индекс снежного покрова) для Самаркандской области за период 2000–2025 гг.

Ключевые слова: климат, средняя температура, ледник, криосфера, снежный покров, NDSI, осадки, Мировой океан, ГИС.

STUDYING THE DYNAMICS OF SNOW COVER OF THE SAMARKAND REGION USING NDSI MAPS UNDER CLIMATE CHANGE CONDITIONS

Annotation

This article analyzes the importance of glaciers and snow cover in the Earth's climate system and human life, as well as their rapid reduction under the influence of climate change. The study highlights the changes occurring in the level of the World Ocean and in global climatic processes as a result of these transformations. In addition, the possibilities of using satellite data for monitoring glaciers and snow cover are examined. In particular, using Landsat satellite imagery and GIS technologies, NDSI (Normalized Difference Snow Index) maps for the Samarkand region were developed for the period 2000–2025.

Keywords: climate, average temperature, glacier, cryosphere, snow cover, NDSI, precipitation, World Ocean, GAT.

Kirish. So'nggi o'n yilliklarda global iqlim o'zgarishi jarayonlari jadal tus olib, Yerning barcha geotizimlarida murakkab va ko'p qirrali ekologik hamda ijtimoiy-iqtisodiy oqibatlar keltirib chiqarmoqda. Xalqaro ilmiy markazlar, iqlim modellashtirish laboratoriyalari va monitoring tarmoqlarining kuzatuvlari atmosferaning termodinamik rejimida sezilarli nomutanosibliklar yuzaga kelayotganini, issiqxona gazlari kontsentratsiyasining misli ko'rilmagan darajada ko'payishi global issiqlik balansini barqarorligining izdan chiqishiga sabab bo'layotganini ilmiy asosda tasdiqlaydi. Natijada regional va lokal iqlim tizimlarida tezkor, ko'pincha bashorat qilish qiyin bo'lgan o'zgarishlar yuz bermoqda. Ushbu jarayonlar ayniqsa tabiiy sharoiti quruq bo'lgan, yog'in miqdori kam va suv resurslari asosan muzliklar hisobiga shakllanadigan O'rta Osiyo hududida, jumladan O'zbekistonda yanada yaqqol namoyon bo'lmoqda.

Tadqiqot mavzusining dolzarbligi. Muzliklar Yerning kriosfera tizimining eng muhim komponentlaridan biri bo'lib, ular global suv resurslarining strategik zaxirasini tashkil etadi hamda sovuq va qurg'oqchil mintaqalarda yashovchi millionlab aholining ichimlik va sug'orish suvi bilan ta'minlanishida hal qiluvchi o'rin tutadi [9]. Tadqiqotlar muzliklarning faqatgina muz massasi sifatida emas, balki mintaqaviy gidrologik jarayonlarning tartibga soluvchi omili sifatida ham alohida ilmiy-amaliy ahamiyatga ega ekanini ko'rsatadi. Shuningdek, muzliklar ko'plab tog'li hududlar uchun daryo oqimlarining barqarorligini saqlovchi asosiy manba hisoblanadi.

Global iqlim o'zgarishi jarayonining jadallashuvi kriosferaning barcha elementlariga, xususan muzliklar va qor qoplamining holatiga kuchli ta'sir ko'rsatmoqda. So'nggi o'n yilliklarda kuzatuvlar qor qoplamining siyraklashuvi, uning barqaror davrining qisqarishi hamda muzliklarning tez sur'atlar bilan erishi natijasida kriosfera maydonining izchil ravishda

torayib borayotganini ko'rsatadi. Olimlarning ilmiy xulosalarida ham mazkur jarayonning jadallashgani va muzliklarning o'rtaacha yillik qisqarish dinamikasi avvalgi davrlarga nisbatan yuqori ekan alohida qayd etiladi [1; 2; 10].

Muzliklarning qisqarishi nafaqat tabiiy jarayonning tezlashgan bosqichi, balki jiddiy ijtimoiy-iqtisodiy va ekologik oqibatlar keltirib chiqaruvchi global muammo sifatida qaralmoqda. Muzliklarning qisqarishi suv resurslarining mavsumiy taqsimlanishini o'zgartirib, daryolarning bahorgi to'yinish manbalarini qisqartiradi, ekotizimlar barqarorligiga xavf tug'diradi va qishloq xo'jaligi hamda sug'orish tizimlarida suv taqchilligi xavfini kuchaytiradi. Shu bois, kriosferaning holatini baholash, muzliklar dinamikasini aniqlash va muntazam monitoringini yo'lga qo'yish bugungi kunda xalqaro miqyosdagi strategik vazifaga aylangan.

Mazkur jarayonlarning global va mintaqaviy ahamiyatini hisobga olgan holda, Birlashgan Millatlar Tashkiloti 2022-yil 14-dekabrda qabul qilgan A/RES/77/158 rezolyutsiyasi orqali 2025-yilni "Xalqaro muzliklarni saqlash yili", 21-martni esa "Jahon muzliklar kuni" deb e'lon qildi [4]. Ushbu qaror muzliklar taqdiri masalasi jahon hamjamiyati uchun ustuvor yo'nalish ekanini yana bir bor tasdiqladi hamda muzliklar monitoringini kuchaytirish, ularning maydonini zamonaviy texnologiyalar asosida xaritalash va ilmiy izlanishlarni kengaytirish zaruriyatini yaqqol namoyon etdi.

Shu nuqtai nazardan, muzliklarning maydoni va hajmidagi o'zgarishlarni o'rganish, ularning dinamikasini aniq baholash, geoinformatsion texnologiyalar asosida tizimli monitoring olib borish hamda muzliklar xaritalarini yaratish bugungi kunda ilmiy jihatdan ham, amaliy ahamiyati jihatidan ham dolzarb hisoblanadi. Tadqiqotning aynan muzliklar transformatsiyasini o'rganishga qaratilgani uning mintaqaviy suv resurslarini boshqarish, ekologik xavfsizlikni ta'minlash va iqlim o'zgarishi sharoitida barqaror rivojlanish strategiyalarini ishlab chiqishda muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega ekanini ko'rsatadi.

Mazkur tadqiqot ishining maqsadi Samarqand viloyatida so'nggi 25 yil ichida qor qoplami va muzliklarning o'zgarishini NDSI (Normal Difference Snow Index – qor qoplamining normalashtirilgan farqi indeksi) xaritalari yordamida tahlil qilishdan iborat. NDSI xaritalarini yaratish, ularning ahamiyatini tahlil qilish ushbu ishning vazifasi hisoblanadi.

Natijalar va ularning muhokamasi. Muzliklar Yerning iqlim tizimida muhim rol o'ynaydigan tabiiy komponentlardan biri hisoblanadi. Ular Yer yuzasiga yetib keladigan Quyosh radiatsiyasining taqsimlanishi va qaytish jarayonlarini tartibga solishda muhim ahamiyat kasb etadi hamda shu orqali global va mintaqaviy iqlim shakllanishiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi [3]. Muzliklarning yuzasi juda yuqori aks ettirish xususiyatiga ega bo'lib, ularning albedo ko'rsatkichi katta bo'lgani sababli Quyoshdan kelayotgan yorug'lik energiyasining qariyb 98–100 foizigacha bo'lgan qismini qaytaradi. Natijada muzliklar Yer yuzasining ortiqcha qizib ketishining oldini olib, sayyoraning umumiy issiqlik balansini muvozanatlashda muhim omil sifatida xizmat qiladi.

Shu bilan birga, muzliklar global gidrologik tizimning ham ajralmas qismi hisoblanadi. Ular asta-sekin erib, okeanlar va daryolarni chuchuk suv bilan ta'minlaydi hamda okean suvlarining sho'rlanish darajasi va harakatiga ta'sir ko'rsatadi. Okean oqimlari esa o'z navbatida mintaqaviy iqlim sharoitlarining shakllanishiga sezilarli ta'sir qiladi [2; 12]. Shu sababli muzliklarning erishi nafaqat suv resurslariga, balki global iqlim tizimiga ham bevosita ta'sir ko'rsatadigan muhim omillardan biri sifatida qaraladi.

So'nggi o'n yilliklarda iqlim o'zgarishi jarayonlari tufayli muzliklarning tez sur'atlarda qisqarishi global miqyosdagi jiddiy ekologik muammoga aylangan. Marzeion va hamkorlari tomonidan olib borilgan ilmiy tadqiqotlarga ko'ra, 1900–2015-yillar oralig'ida Jahon okeani sathining ko'tarilishiga ta'sir etuvchi asosiy omillar tahlil qilinganda, muzliklarning erishi ushbu jarayonning qariyb 21 foizini tashkil etishi aniqlangan [8]. Bu ko'rsatkich muzliklarning global iqlim tizimi va dengiz sathining o'zgarishidagi o'rnini yana bir bor tasdiqlaydi.

Muzliklarning yana bir muhim jihati - ular ko'plab hududlar uchun asosiy chuchuk suv manbai bo'lib xizmat qilishidir. Kaserning tadqiqotlariga ko'ra, Yer aholisi sonining taxminan oltidan bir qismi o'z ehtiyojlari uchun muzliklardan hosil bo'ladigan suv oqimlaridan foydalanadi [5; 7]. Ayniqsa, tog'li hududlarda yashovchi aholining suv ta'minoti bevosita muzliklar erishidan hosil bo'ladigan daryolar bilan bog'liq bo'lib, bu hududlarda muzliklarning qisqarishi suv resurslari xavfsizligiga jiddiy tahdid tug'dirishi mumkin.

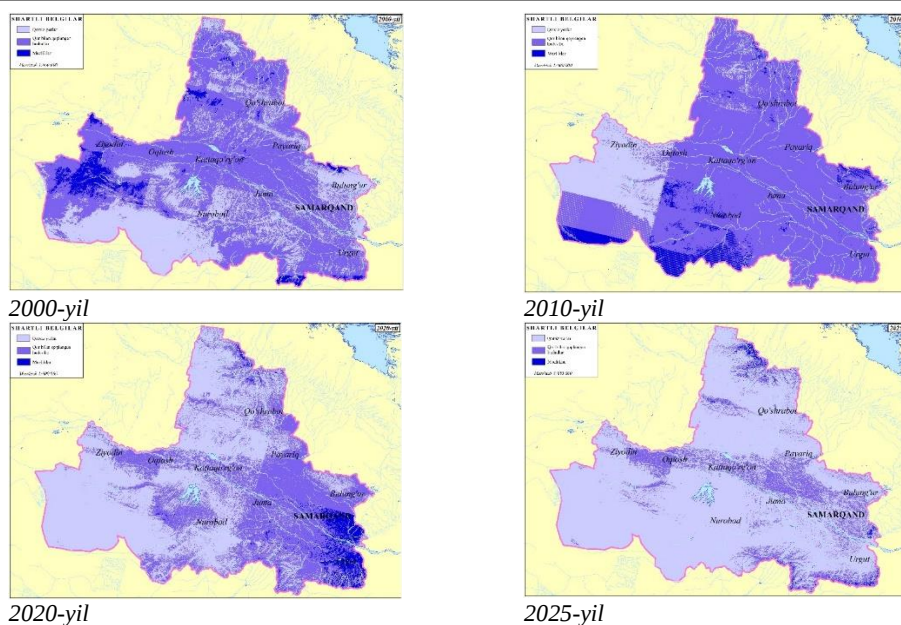
Markaziy Osiyo hududida ham muzliklar va qor qoplamining dinamikasi suv resurslarini shakllantirishda muhim ahamiyatga ega. Jumladan, Samarqand viloyati hududining asosiy suv manbalaridan biri hisoblangan Zarafshon daryosi ham Zarafshon muzligining erishidan to'yinadi [13]. Shu sababli muzliklar va qor qoplamining holatini muntazam o'rganish, ularning hududiy va vaqt bo'yicha o'zgarishlarini aniqlash viloyatning suv resurslarini barqaror boshqarish nuqtai nazaridan alohida ahamiyat kasb etadi.

Muzliklar va qor qoplamining o'zgarishini o'rganishda zamonaviy masofadan zondlash texnologiyalari keng qo'llanilmoqda. XX asrning 1970-yillaridan boshlab olib borilgan ko'plab ilmiy tadqiqotlar qor va muz qatlamlarini aniqlashda ularning ko'rinadigan (visible), yaqin infraqizil (NIR) va qisqa to'lqinli infraqizil (SWIR) spektral diapazonlardagi o'ziga xos spektral xususiyatlaridan foydalanishga asoslangan turli indeks va tasma nisbatlarini ishlab chiqishga imkon berdi [6]. Ushbu spektral xususiyatlar qor va muz qoplamini boshqa yer yuzasi obyektlaridan aniq ajratish imkonini beradi.

Mazkur tadqiqot doirasida Samarqand viloyatining qor qoplami dinamikasini aniqlash maqsadida NDSI (Normalized Difference Snow Index – qor qoplamining normalashtirilgan farqi indeksi) xaritalari ishlab chiqildi. NDSI hisoblash jarayonida Landsat sun'iy yo'ldosh tasvirlaridan foydalanildi. Xususan, Landsat 4/5/7 sun'iy yo'ldoshlari uchun yashil spektrdagi Band 2 va qisqa to'lqinli infraqizil diapazondagi Band 5 kanallari, Landsat 8/9 sun'iy yo'ldoshlari uchun esa Band 3 (yashil spektr) hamda Band 6 (qisqa to'lqinli infraqizil spektr) kanallari asos qilib olindi (1-rasm). Ushbu spektral kombinatsiyalar qor va muz qoplamining boshqa landshaft elementlaridan aniq ajralib ko'rinishiga imkon beradi.

Tahlil natijasida yanvar oyi uchun tuzilgan o'rtaacha NDSI xaritalari Samarqand viloyati hududida qor qoplamining vaqt bo'yicha sezilarli darajada o'zgarib borayotganini ko'rsatdi. 2000-yil yanvar oyida viloyat hududining katta qismi qor bilan qoplangan bo'lib, ayniqsa tog'li hududlarda qor qatlami ancha qalin bo'lganini kuzatish mumkin. 2010-yilga kelib ham viloyat hududining qariyb 70 foiz qismida qor qoplami saqlanib qolgan.

Biroq keyingi yillarda qor qoplamining hududiy tarqalishi sezilarli darajada qisqargani kuzatildi. Xususan, 2020-yilda qor qoplami asosan viloyatning sharqiy qismida - Samarqand shahri, Urgut va Toyloq tumanlari atrofida, shuningdek tabiiy geografik jihatdan Qoratepa, Chaqilikalon hamda Zirabuloq tog' tizmalari shimoliy yonbag'irlarida, Shimoliy Nurota, Oqtov, Qaroqchitov va G'o'bdintog' tizmalari janubiy yonbag'irlarida kuzatilgan.



1-rasm. Samarqand viloyatining 2000 - 2025 yillar uchun NDSI xaritalari (mualliflar tomonidan ArcMap dasturida tuzilgan)

2025-yil uchun tuzilgan NDSI xaritalari esa qor qoplaminin viloyat hududida yanada notekis taqsimlanayotganini ko'rsatdi. Bu davrda qor qoplami asosan viloyatning shimoliy qismida - Shimoliy Nurota tizmasi va Oqto'vning janubiy yonbag'irlarida, markaziy qismida Zarafshon daryosi vodiysi bo'ylab hamda janubi-sharqiy qismida Chaqilikalon tog' tizmasining shimoliy yonbag'irlarida ko'proq kuzatilgan.

Xaritada tasvirlangan to'q ko'k rang bilan ifodalangan hududlar qor qoplami qalin va zich bo'lgan, ayrim joylarda esa muz qatlamlari shakllangan maydonlarni bildiradi. Bu holat NDSI (Normalized Difference Snow Index) ko'rsatkichining qiymatlari bilan bog'liq bo'lib, mazkur indeks -1 dan $+1$ gacha bo'lgan diapazonda o'zgaradi. Indeks qiymati qanchalik $+1$ ga yaqin bo'lsa, hududda qor yoki muz qoplami mavjudligi shunchalik yuqori ehtimollik bilan aniqlanadi. Amaliy tadqiqotlarda hududning tabiiy sharoitiga qarab odatda $+0,4$ va undan yuqori qiymatlar qor yoki muz qoplami mavjud bo'lgan maydon sifatida talqin qilinadi. Shu sababli NDSI indekslari asosida tuzilgan xaritalarga rang berishda aynan shu mezonlardan foydalanish orqali qalin va zich qor qoplami ega hududlar hamda muzliklarning joylashuvi va maydonini aniqlash imkoniyati paydo bo'ladi.

Biroq keyingi yillarda, ayniqsa 2020–2025-yillar oralig'ida ushbu hududlarda qor qoplami sezilarli darajada siyraklashgani kuzatildi. Bu davrga oid NDSI xaritalari tahlili shuni ko'rsatadiki, Ziyovuddin va Zirabuloq tizmalari hududlarida qor qoplami avvalgi yillarga nisbatan kamroq maydonni egallagan. Mazkur o'zgarishlar bir qator omillar bilan izohlanishi mumkin. Birinchidan, ayrim yillarda qish mavsumida yog'in miqdorining kamayishi natijasida qor qoplami yetarli darajada shakllanmagan bo'lishi mumkin. Ikkinchidan, qish mavsumidagi havo haroratining nisbatan yuqori bo'lishi qor qatlaminin tezroq erishiga olib kelgan bo'lishi ehtimoldan xoli emas. Shu sababli NDSI ko'rsatkichlaridagi pasayish hududdagi qor qoplami zichligining kamayib borayotganini ko'rsatadi.

Xulosa. Muzliklar va qor qoplami Yerning tabiiy iqlim tizimi hamda suv resurslarini shakllantirishda muhim ahamiyatga ega bo'lgan tabiiy komponentlardan biri hisoblanadi. Ular global iqlimni tartibga solish, daryolarni chuchuk suv bilan ta'minlash hamda ekotizimlarning barqarorligini saqlashda muhim rol o'ynaydi. Shu sababli muzliklar va qor qoplami holatini muntazam ravishda kuzatib borish va ularning o'zgarish dinamikasini ilmiy jihatdan tahlil qilish zarur hisoblanadi.

Sun'iy yo'ldosh tasvirlarining yashil (Green) va qisqa to'liq infragizil (SWIR) spektral diapazonlaridan foydalanish orqali NDSI indeksini hisoblash hamda qor va muz qoplaminin hududiy o'zgarishini aniqlash mumkin. Bunday texnologiyalar yordamida katta hududlarni qisqa vaqt ichida tahlil qilish, muzliklarning maydoni va qor qoplami dinamikasini aniqlash hamda ularning vaqt bo'yicha o'zgarishlarini kuzatish imkoniyati yaratiladi.

Shu nuqtai nazardan, masofadan zondlash texnologiyalariga asoslangan monitoring tizimlarini keng joriy etish muzliklar va qor qoplami dinamikasini o'rganish hamda suv resurslarini barqaror boshqarish strategiyalarini ishlab chiqishda muhim ilmiy va amaliy ahamiyatga ega hisoblanadi.

ADABIYOTLAR

1. Avezov M.M. Physical geographical basis for the formation of the names of mountain glaciers in Uzbekistan and the problem of transcription of glacionyms (using the example of glacionyms of the Piskom basin) // Bulletin of the L.N. Gumilyov Eurasian National University. Chemistry. Geography. Ecology Series. - 2024. - Vol. 147, No. 2. - P. 81–91. - DOI: 10.32523/2616-6771-2024-147-2-81-91.
2. Babak Mohammadi, Petter Pilesjö and Zheng Duan. 2023. "The superiority of the Adjusted Normalized Difference Snow Index (ANDSI) for mapping glaciers using Sentinel-2 multispectral satellite imagery." Giscience & remote sensing 2023, VOL. 60, NO. 1, 2257978 <https://doi.org/10.1080/15481603.2023.2257978>
3. Bengtsson L. Foreword: International Space Science Institute (ISSI) Workshop on the Earth's Hydrological Cycle, 485–488. Dordrecht: Springer Netherlands, 2014. https://doi.org/10.1007/978-94-017-8789-5_1
4. Birlashgan millatlar tashkilotining A/RES/77/158 assambleya qarori https://www.unoosa.org/oosa/en/oosadoc/data/resolutions/2022/general_assembly_77th_session/ares77121.html

5. Doskenova B., Saduova A., Saduov M., Lyssakova T., Avezov M., Makhambetov M., Kakabayev A., Pangaliyev Y. Assessment of environmental pollution and health risks across urban-rural gradients // *Journal of Ecological Engineering*. - 2026. - Vol. 27, No. 1. - P. 98 - 111. - DOI: 10.12911/22998993/209413.
6. Foster J., Hall D., Kelly R., Chiu L. Seasonal Snow Extent and Snow Mass in South America Using SMMR and SSM/I Passive Microwave Data (1979–2006) // *Remote Sensing of Environment*, 2009. 113 (2): 291–305. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.09.010>
7. Kaser G., Großhauser M., Marzeion B. Contribution Potential of Glaciers to Water Availability in Different Climate Regimes // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2010. 107 (47): 20223–20227. <https://doi.org/10.1073/pnas.1008162107>.
8. Marzeion B., Kaser G., Maussion F., Champollion N. Limited Influence of Climate Change Mitigation on Short-Term Glacier Mass Loss // *Nature Climate Change*, 2018 8 (4): 305–308. Nature Publishing Group. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0093-1>
9. Parajka, J., M. Pepe, A. Rampini, S. Rossi, and G. Blöschl. A Regional Snow-Line Method for Estimating Snow Cover from MODIS During Cloud Cover // *Journal of Hydrology*, 2010. 381 (3–4): 203–212. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.11.042>.
10. Teshayev N.N., Otajonov J.A. Masofadan zondlash texnologiyalari asosida qor va muzliklar monitoringini yuritish usulini takomillashtirish: So'g'd viloyati misolida // "Geodeziya, kartografiya va geoinformatika" Ilmiy-texnik jurnali 2-son, 2023. 11-15-b. UUK: 504.064.36:556.124:528.8(575.3)
11. Wang Y., Huang X., Wang J., Zhou M., Liang T. AMSR2 snow depth downscaling algorithm based on a multifactor approach over the Tibetan Plateau, China // *Remote Sensing of Environment*, 2019, 231: 111268. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111268>
12. Xamrakulova X. Mirzaeva Z., Shabbazova D., Sabirov A., Rasulova Z., Ismoilov B., Avezov M. Project-based marine biodiversity education to improve ocean literacy and conservation attitudes among secondary students // *NESciences*. - 2026. - Vol. 11, No. 1. - P. 211 - 220. - DOI: 10.28978/nesciences.261015.
13. Зияев Р.Р. Зарафшон хавзаси дарёлари сув режими фазаларининг иқлим ўзгариши шароитидаги силжишлари География фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) илмий даражасини олиш учун ёзилган диссертация. – Т.: 2021.