**DOI:10.33942/sit1264** **УДК: 551**

# ИЗМЕНЕНИЕ ПЛОЩАДИ И БАЛАНСА МАССЫ ЛЕДНИКА ТУРГЕН-АК-СУУ

**[1]Белеков С.К., [2]Акматов Р.Т., [3]Жээналиев А.Ж.**

*[1]Начальник отдела лавинной безопасности Гидрометслужбы МЧС КР, г. Бишкек, Кыргызстан, e-mail: sultbelekov@gmail.com*

*[2]Заместитель декана факультета географии, экологии и туризма КГУ им. И. Арабаева, г. Бишкек, Кыргызстан, e-mail: nalsur24@list.ru*

*[3]Начальник отдела агропромышленного комплекса и экологии Аппарата Правительства КР, г. Бишкек, Кыргызстан*

***Аннотация:*** *В этой статье была проведена работа по определению баланса массы, исторических границ ледника Турген-Ак-Суу в период с 2018/19 по 2020/21 годы. Исследование было основано на ежегодных гляциологических измерениях в период с 2018/19 по 2020/21 год и снимкам с искусственных спутников земли и снимков с БПЛА. Для определения массового баланса каждого годового периода использовался метод контурной линии. Среднегодовой баланс массы ледника Турген-Аксуу в период исследования составила -0,54 м.в.э. и ледник отступает в среднем в пределах 14.5 метр в год. Баланс массы ледника Турген-Аксуу в 2020-2021 г. составил -0,79 м в.э. таким образом, за год ледник потерял 4,12 миллион тонн своей массы.*

***Ключевые слова:*** *абляция, аккумуляция, баланс, масса ледника, температура воздуха, атмосферные осадки, каталог ледников, исторические границы ледника.*

# ТҮРГӨН-АК-СУУ МӨҢГҮСҮНҮН МАССАЛЫК БАЛАНСЫНЫН ЖАНА МӨҢГҮНҮН АЯНТЫНЫН ӨЗГӨРҮШҮ

**[1]С.К.Белеков, [2]Р.Т.Акматов, [3]А.Ж.Жээналиев**

*[1]КР ӨКМ караштуу Гидрометеорологиялык кызматынын Кар көчкү коопсуздугу бөлүмүнүн башчысы, Бишкек ш., Кыргызстан, e-mail: sultbelekov@gmail.com*

*[2]И.Арабаев атындагы КМУнун география, экология жана туризм факультетинин деканынын орун басары, Бишкек ш., Кыргызстан, e-mail: nalsur24@list.ru*

*[3]Кыргыз Республикасынын Өкмөтүнүн Аппаратынын агроөнөр жай комплекси жана экология бөлүмүнүн башчысы, Бишкек ш., Кыргызстан*

***Аннотация:*** *Бул макалада 2018/19-2020/21-жылдар аралыгындагы Түргөн-Ак-Суу мөңгүсүнүн массалык балансын, тарыхый чектерин аныктоо иштери жүргүзүлгөн. Изилдөө иштери 2018/19 жана 2020/21-жылдар ортосундагы жылдык гляциологиялык өлчөөлөргө жана жердин жасалма спутниктеринен, учкучсуз учуучу аппараттардан алынган сүрөттөргө негизделген. Ар бир жылдык мезгилдин массалык балансын аныктоо үчүн, контур сызыгы ыкмасы колдонулган. Изилдөө мезгилинде Түргөн-Ак-Суу мөңгүсүнүн массасынын орточо жылдык балансы - 0,54 м.с.э. жана мөңгүнүн жылдык орточо чегинүүсү 14,5 м түзгөн. 2020-2021-жылдары Турген-Аксуу мөңгүсүнүн массалык балансы -0,79 метр суу эквалентине барабар болуп, мөңгү жыл ичинде 4,12 миллион тонна сууну жоготкон.*

***Негизги сөздөр:*** *абляция, аккумуляция, баланс, мөңгүнүн массасы, абанын температурасы, жаан-чачындын көлөмү, мөңгүлөрдүн каталогу, мөңгүнүн тарыхый чектери.*

# CHANGES IN THE AREA AND MASS BALANCE OF THE TURGON-AK-SUU GLACIER

**K. S. Belekov, R.T. Akmatova, A.Zh. Zheenaliev**

*[1]Head of the Avalanche Safety Department of the Hydrometeorological Service of the Ministry of*

*Emergency Situations of the Kyrgyz Republic, Bishkek, Kyrgyzstan, e-mail: sultbelekov@gmail.com*
[2]*Deputy Dean of the Faculty of Geography, Ecology and Tourism of the I. Arabayev Kyrgyz State University, Bishkek, Kyrgyzstan, e-mail: nalsur24@list.ru*
[3]*Head of the Department of Agro-Industrial Complex and Ecology of the Government of the Kyrgyz Republic, Bishkek, Kyrgyzstan*

***Annotation:*** *In this article, work was carried out to determine the mass balance, historical boundaries of the Turgen-Ak-Suu glacier in the period from 2018/19 to 2020/21. The study was based on annual glaciological measurements from 2018/19 to 2020/21. The contour line method was used to determine the mass balance of each annual period. The average annual mass balance of the Turgen-Aksu glacier during the study period was -0.54 m.w.e. and the glacier retreats on average within 14.5 meters per year. The mass balance of the Turgen-Aksu glacier in 2020-2021 was -0.79 m v.e. thus, during the year the glacier lost 4.12 million tons of its mass.*
***Keywords:*** *ablation, accumulation, balance, glacier mass, air temperature, precipitation, catalog of glaciers, historical boundaries of the glacier.*

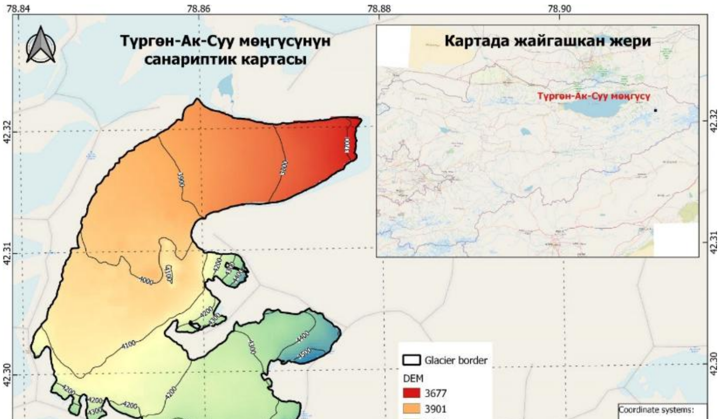
**Кириш сөз**

Кыргызстан – климаттын өзгөрүшүнүн кесепеттеринин алдында өтө аялуу болгон өлкөлөрдүн бири болуп саналат. Кыргызстандын айыл чарбасы менен гидроэнергетикасы мөңгүлөрдүн суусуна көз каранды. Кыргыз Республикасы Борбордук Азиядагы суу ресурстары толугу менен өз аймагында түзүлгөн жападан жалгыз өлкө, бул анын гидрологиялык өзгөчөлүгү жана артыкчылыгы [1]. Бүгүнкү күндө климаттык өзгөрүүлөр Борбордук Азиянын бардык дарыяларын азыктандырган мөңгүлөрдүн байкалаарлык деградациясына алып келүүдө.

Мөңгүлөрдүн абалына жана эволюциясына баа берүүчү негизги объективдүү көрсөткүч болуп, мөңгүнүн көп жылдык массалык балансы боюнча маалыматтар эсептелет. Финляндиянын метеорологиялык институтунун долбоорунун алкагында Финляндиялык окумуштуулар менен биргеликте, 2018-жылдан бери Түргөн-Ак-Суу мөңгүсүнө мониторинг жүргүзүлүп келе жатат. Изилдөө иштеринин жүрүшүндө экпедициялык изилдөө иштерине чыгуу менен, мөңгүлөрдүн массалык балансына мониторинг жана изилдөө иштери жүргүзүлүп, жандуу жер жана спутник картасы кеңири колдонулду.

Түргөн-Ак-Суу суусу – Жыргалаң суусунун куймасы. Советтер Союзунун мөңгүлөрүнүн каталогу боюнча бул дарыянын алабында жалпы аянты 33.2 км2 жеткен 36 мөңгү бар, алардын эң чоңу 443 номердеги Түрген-Аксуу мөңгүсү [2].

Түргөн-Ак-Суу мөңгүсү – Ысык-Көл облусунун Ак-Суу районундагы Теской-Ала-Тоо кырка тоосунун чыгыш тарабында жайгашкан жана Түрген-Аксуу дарыясынын өрөөнүндөгү эң чоң мөңгү. Мөңгүнүн аянты 2021-жылы курулган чек аралар боюнча эсептегенде 5,16 км$^2$, узундугу 6,7 км жана периметри 18,8 км жеткен. Деңиз деңгээлинен 3677 метрден 4572 метрге чейинки бийиктикти түзөт (1-сүрөт).



*1-сүрөт. Кыргызстандын картасында Түргөн-Ак-Суу мөңгүсүнүн жайгашкан жери*

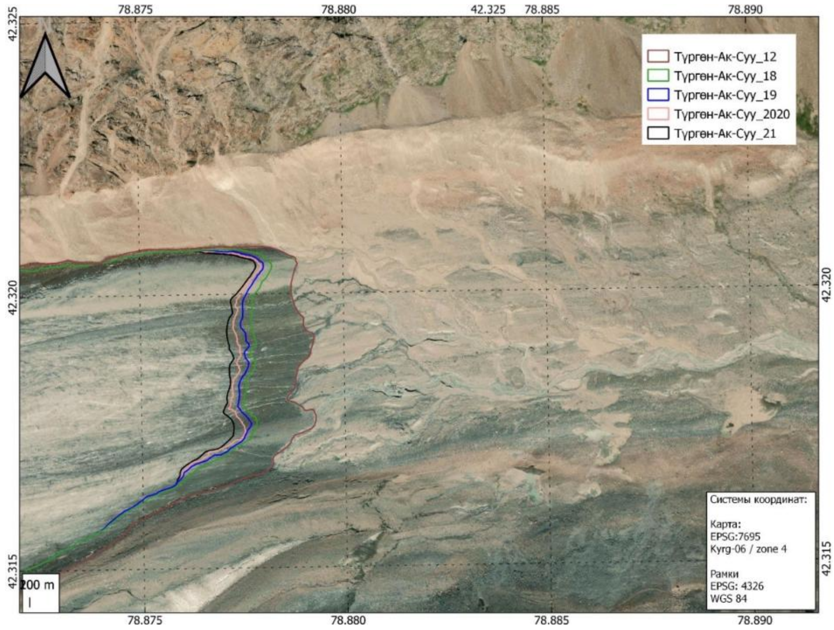
**Мөңгүлөрдүн чек араларынын тартылышы**

Негизинен Түргөн-Ак-Суу мөңгүсүнүн абалын жана чек арасын аныктоо ыкмасы Sentinel 2 сериясындагы спутниктен алынган сүрөткө негизделген.

Sentinel 2 - “Коперниктин” глобалдык айлана-чөйрөнү жана коопсуздукту көзөмөлдөө долбоорунун алкагында түзүлгөн, Европа космостук агенттигинин Жерди алыстан байкоо спутниктеринин бир түрү. Спутниктер жерди, өсүмдүктөрдү, токойлорду жана суу ресурстарын пайдаланууну көзөмөлдөө үчүн иштелип чыккан, ошондой эле жогорку тактыка ээ (көбүнчө 10 м ден жогору) жаратылыштык кырсыктарды алдын алуу жана жоюуда колдонуу үчүн түзүлгөн. Биринчи спутник Sentinel-2A 2015-жылдын 23-июнунда учурулган [7].

Изилдөөлөрдүн натыйжасында, Bing [5], Sentinel 2a спутнигинен, учкучсуз учуучу аппараттан алынган сүрөттөрдүн негизинде, 20212-жылдан 2021-жылга чейин Түргөн-Ак-Суу мөңгүсүнүн чек аралары аныкталып такталды.

2012-жылдан 2021-жылга чейинки 9 жыл аралыгында Түргөн-Ак-Суу мөңгүсүнүн аянты 5,26 км$^2$ дан 5,16 км$^2$ га чейин, башкача айтканда 0,10 км$^2$ же 2%га кыскарган (2- сүрөт). Мөңгүлөрдүн чегинүүсү орточо эсеп менен 130 метрди түздү. 2012-жылдан 2021- жылга чейин мөңгү жылына орточо 14.5 метр чегингени аныкталган.




*2-сүрөт. Түргөн-Ак-Суу мөңгүсүнүн чек арасынын 2012-жылдан 2021-жылга чейин кыскарышы*

**МЕТОДОЛОГИЯ**

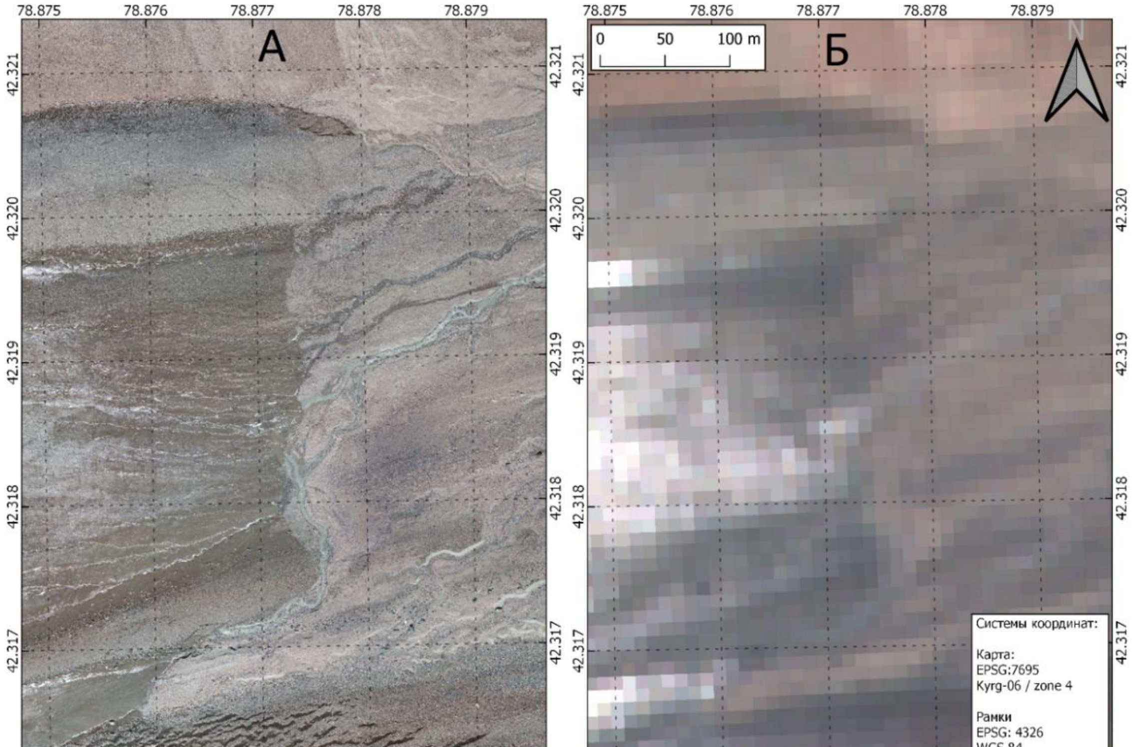
**Мөңгүлөрү жеринен изилдөө иштерин уюштуруу**

Иш чаралардын уюштуруу – негизинен мөңгүлөрдүн массалык балансын эсептөө үчүн, маалыматтарды чогултууга багытталган. Иш чара өзүнө абляциялык тактайчаларды орнотуу, алардан маалыматтарды чогултуу жана мөңгүнүн топтолгон аймагында кар казып, кардын тыгыздыгын орточо бийиктигин аныктоону камтыйт (3-4-сүрөт). Мындан тышкары, Түрген-Аксуу мөңгүсүндө учкучсуз учуучу аппараттын жардамы менен мөңгүнүн абляциялык аймагынын бетинин аэрофото сүрөттөрүн тартуу иштер жүргүзүлдү (5-сүрөт).

3-сүрөттө абляция зонасында аткарылган иштердин, тактап айтканда абляция тактайларын орнотуунун фотосүрөттөрү көрсөтүлгөн. Эреже катары, такталар ар бир 50 метр бийиктикте үч катардан орнотулат жана алардын жайгашкан жери спутниктик глобалдык навигация системаларынын жардамы менен координаталары жазылат.

*3-сүрөт. Абляциялык тактайчаларды орнотуу үчүн муз бургулоо*

*4-сүрөт. Мөңгүнүн топтолуучу аймагында кар казуу*



*5-сүрөт. 2020-жылдын август айындагы Түргөн-Ак-Суу мөңгүсүнүн маңдайы, А – УУА сүрөттөрүнүн негизиндеги карта, Б – Sentinel 2A спутниктик сүрөтүнүн негизиндеги карта*

Мөңгүнүн топтолуучу аймагында жылдык кар катмарынын топтолушун аныктоо иштери жүргүзүлдү. Бул иштин негизи – кар казуу, жыл бою жааган кардын орточо бийиктигин, тыгыздыгын жана стратиграфиясын аныктоо (4-сүрөт).

**Контурдук сызык ыкмасын колдонуу менен мөңгүлөрдүн массасынын балансын эсептөө ыкмасы.**

QGIS программалык камсыздоонун жардамы менен мөңгүлөрдүн массалык балансын эсептөө үчүн, мөңгүлөрдүн чек аралары Sentinel 2a, 2b, Google, Bing жана Yandex тарабынан берилген спутниктик сүрөттөрдү колдонууга негизделген. Андан кийин мөңгүнүн чеги белгиленген картага абляциялык тактайчалардын жайгашкан жери, кар казуучу чектери өз белгилери менен (GPS алынган маалыматтар) картага түшүрүлгөн. Андан соң баардык маалыматтар менен түзүлгөн карта, Кыргызстандын бирдиктүү мамлекеттик координаттар системасына (Kyrg-06) (Мамкаттоо) проекцияланган [4]. Бул проекция Кыргыз Республикасынын аймагындагы объектилердин аянтарынын бурмаланышын минималдаштырууга жардам берет. Маалыматтар жана анын координаттары колго кармалуучу GPS аркылуу аныкталган жана жазылган. Топтолгон маалыматтардын негизинде, мөңгүлөрдүн ар бир жылдык массасынын балансын эсептөө үчүн Контурдук сызык ыкмасы колдонулду.

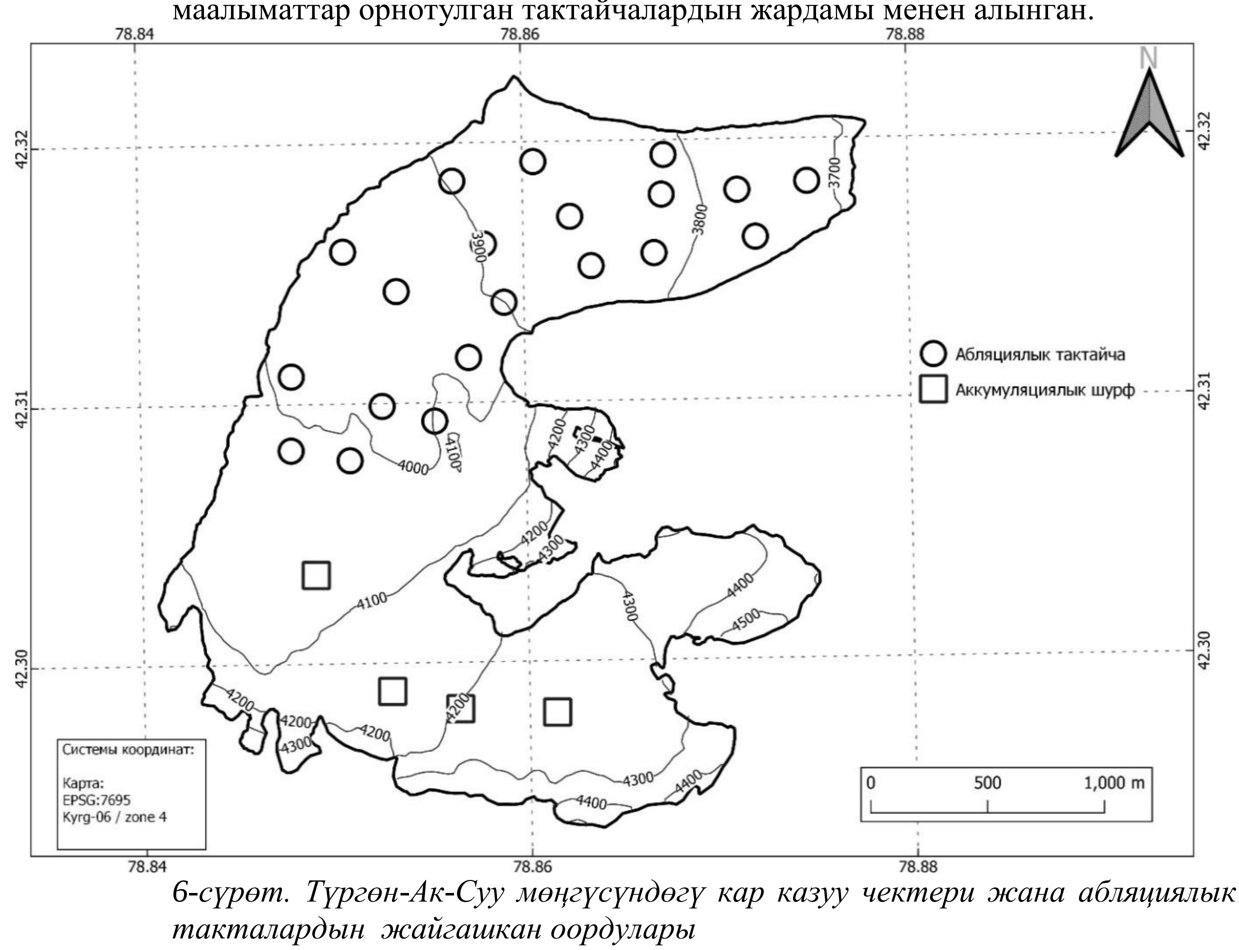
Координаттары бар талаа маалыматтарын колдонуу менен мөңгүнүн аянтынын бетине чекиттик объекттерди түздүк. Аккумуляциялык жана абляциялык маалыматтардын негизинде, мөңгүнүн бийиктик алкактуулугу боюнча, массалык балансынын сызыгы суу эквивалентинде -0,5 м.с.э. интервалы менен изосызыктары сызылды.

Андан ары түзүлгөн изосызыктардын ортосундагы алынган маалыматтар, QGIS программасынын инструменттеринин жардамы менен интерполяцияланды. Андан кийин орточо массалык балансы (bi) ар бир 50 м бийиктик зонасы үчүн, QGIS программалык камсыздоонун куралды колдонуу менен өзүнчө эсептелди. Алынган массалык балансынын маанилери (bi) ар бир зонадагы (50 м) аянтына (Ai) көбөйтүлөт, ар бир бийиктиктен алынган

маалыматтар кошулуп жана андан кийин мөңгүнүн орточо жылдык массалык балансын ($B_{contour}$) алуу үчүн, мөңгүлөрдүн жалпы аянтына (Aglacier) бөлүнөт.

(Формула): $B_{contour} = \Sigma$

**БАЙКОО МЕЗГИЛИНДЕГИ МӨҢГҮНҮН МАССАЛЫК БАЛАНСЫ** Экспедициялык талаа иштеринин негизги максаттарынын бири, мөңгүнүн массалык балансын аныктоо, мөңгүнүн топтолуучу жана абляциялык аймагында муздун жыл сайын эрүү деңгээлин жана кардын топтолушун өлчөө болгон. Бул үчүн 20 даана абляциялык тактайчалар орнотулган. "Тоо мөңгүлөрүнө мониторинг жүргүзүү" жетекчилигине ылайык тактайчалар бийиктик алкагына ылайык ар бир 50 метр бийиктикте 3 катар тактайчалар орнотулуп жана алардын жайгашкан жери спутниктик глобалдык навигация системаларынын жардамы менен жазылды. Кийинки жылдарда мөңгүнүн эриши жана жылышы боюнча маалыматтар орнотулган тактайчалардын жардамы менен алынган.



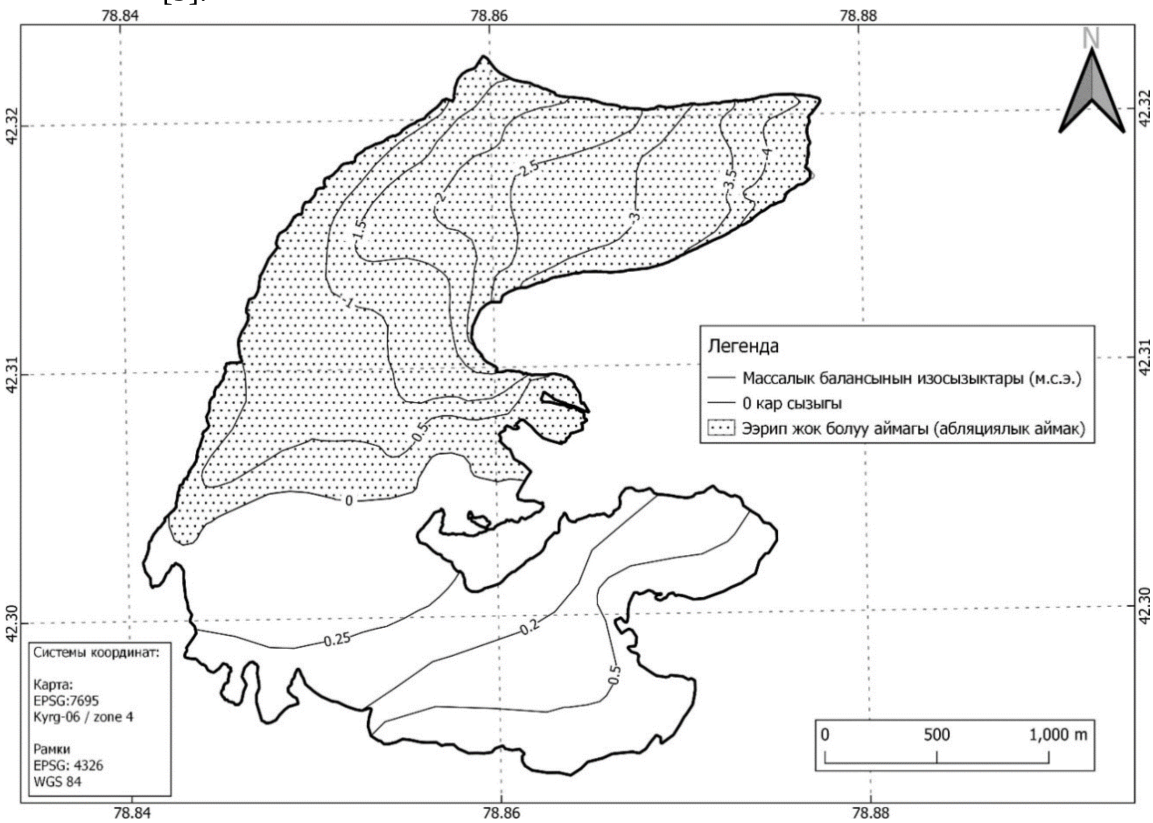

*6-сүрөт. Түргөн-Ак-Суу мөңгүсүндөгү кар казуу чектери жана абляциялык такталардын жайгашкан оордулары*

Жыл сайын август айында мөңгүнүн жылдык абляциясы орнотулган тактайчалардын жардамы менен көрсөткүчтөрү ченелип, топтолуучу аймактагы кар катмарынын орточо бийиктиги жана тыгыздыгы аныкталып турду (6-сүрөт). Андан кийин ээриген муздун жана топтолгон кардын суу эквиваленти төмөнкү теңдемелерди колдонуу менен эсептелген:

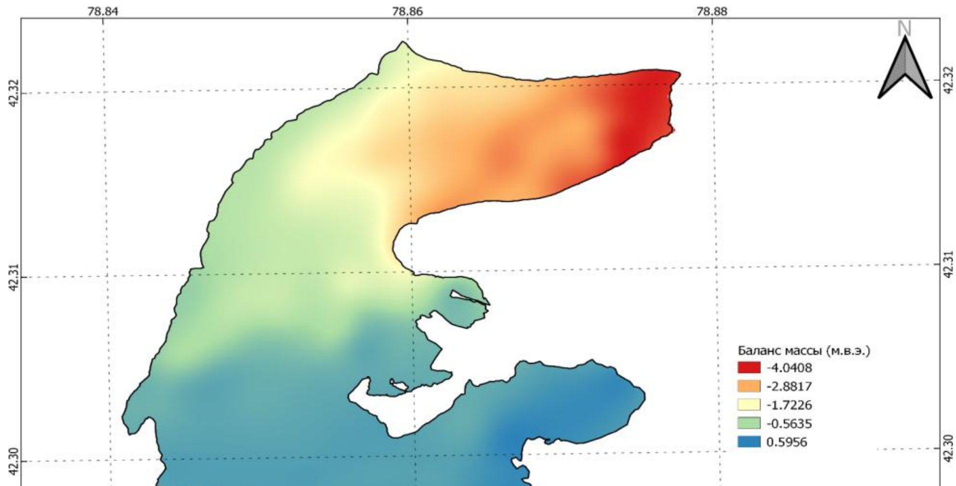
–

*Мында, – суунун эквиваленттинин бийиктиги, – тактада жыл бою эрип кеткен муздун бийиктиги, – кар казуучу чектердеги кардын жалпы бийиктиги, ‾– кардын орточо тыгыздыгы жана муздун тыгыздыгы =0.9 г / см³.*

Мөңгүнүн массалык балансын эсептөө үчүн, ар бир жыл үчүн мөңгүнүн мурда аныкталган чегинин контуру, абляция жана аккумуляция өлчөөлөрү менен чекиттер колдонулган. Аккумуляциялык жана абляциялык маалыматтардын негизинде, массалык балансынын изосызыгдары - 0,5 метр суу экиваленти аралыгында түзүлдү (6-сүрөт). Андан ары, сызыктардын ортосундагы алынган маалыматтар QGISте инструменттердин жардамы менен интерполяцияланды [9].

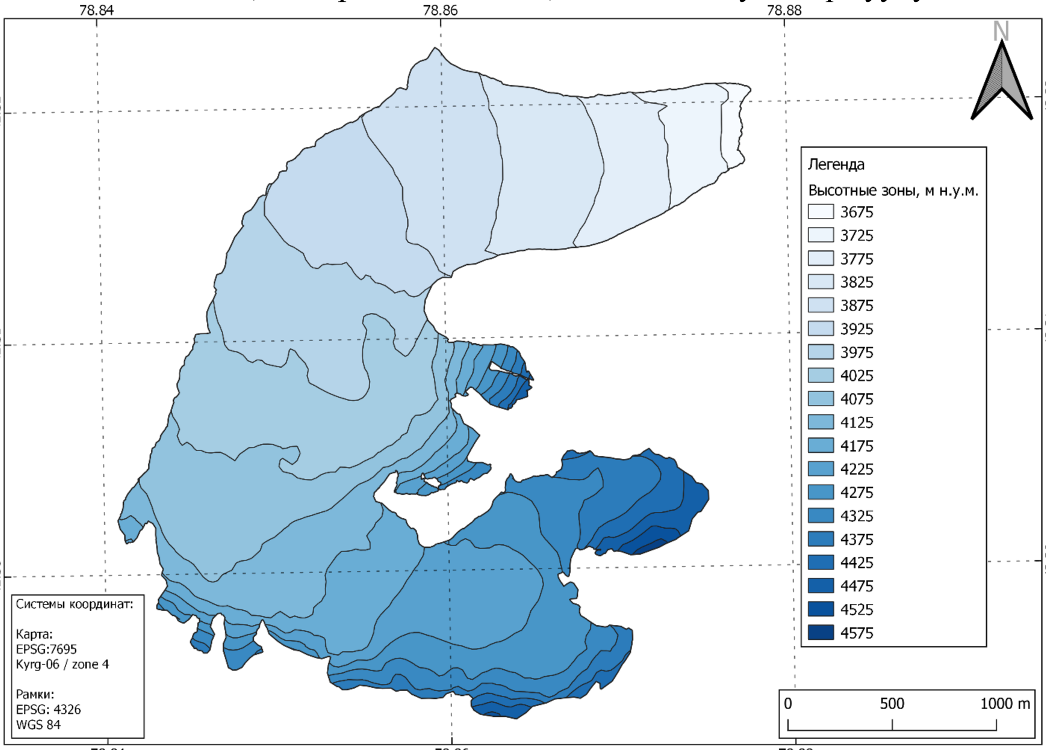



*7-сүрөт. 2020-2021-жылдардагы Түргөн-Ак-Суу мөңгүсүнүн массалык балансынын картасы* Абляция жана аккумуляциялык чекиттерден алынган маалыматтар жөнгө салынуучу чыңалуу сплайн ыкмасы менен бүт мөңгүнүн аянтына интерполяцияланган [9]. Мөңгүнүн массалык балансы катары интерполяциянын натыйжасынын орточо арифметикалык мааниси алынган (8-сүрөт).



*8-сүрөт. 2020-2021-жылдырдагы интерполяцияланган мөңгүнүн массалык балансы*

Изилдөөлөрдүн жыйынтыгында, 2020-2021-жылдары Турген-Аксуу мөңгүсүнүн массалык балансы - 0,79 метр суу эквалентине барабар болгон. Мөңгүнүн аныкталган аянтын (5,16 км$^2$) эске алганда, мөңгү жыл ичинде 4,12 миллион куб метр сууну жоготкон.




*9-сүрөт. Мөңгүнүн бийиктик зоналар боюнча бөлүнүшү*

Санарип бийиктик моделдери (ЦМР) мөңгүлөрдүн бийиктик зоналарында массасынын балансын талдоо үчүн колдонулган. Shuttle radar topographic mission (SRTM) [9] жана ALOS World 3D - 30m (AW3D30) [10].

DEM рельефтин санарип моделин колдонуу менен мөңгүнүн аянты ар бир 50 метр бийиктик зонасына бөлүнгөн (9-сүрөт). Андан кийин ар бир бийиктик зонасынын аянты жана анын массалык балансы эсептелген.

*1-таблица*

*Түргөн-Ак-Суу мөңгүсүнүн жылдык массалык балансынын көрсөткүчүнүн жана кар сызыгынын бийиктиги*

| **Жыл** | **Кар сызыгы, мд.б.** | **Массалык балансы, м.с.э.** | **Аянты, км²** |
|---|---|---|---|
| 2018/19 | 4052 | -0.53 | 5.17 |
| 2019/20 | 4023 | -0.30 | 5.16 |
| 2020/21 | 4074 | -0.79 | 5.16 |

Мөңгүнүн массасынын жылдык балансынын ишенимдүү индикатору болуп фирн линиясынын (кар сызыгы КС) абалы канчалык гипсометриялык жактан төмөн болсо, мөңгү үчүн климаттык шарттар ошончолук жагымдуу болгон. Демек, жааган кардын көбөйүшү жана эрүү процесинин аз болушу, өз кезегинде оң массалык баланс болууга өбөлгөлөрдү түзөт.

Мөңгүнүн терс массалык балансын, мөңгүнүн деградациясы аркылуу дарыянын агымынын көлөмүнө чоң салымын кошот, деп чечмелесек болот. Бирок, ошол эле учурда мөңгүлөрдүн аянты да кыскарууда. Ошондуктан, бир нече убакыт өткөндөн кийин дарыяларды азыктандыруу салыштырма наркынын өсүшү, мөңгүнүн көлөмүнүн азайышына алып келет.

## КОРУТУНДУ

- Изилдөө мезгилинде Түргөн-Ак-Суу мөңгүсүнүн массасынын орточо жылдык балансы -0,54 м.с.э. жана мөңгүнүн массасынын акумулятивдик балансы -1,62 м.с.э. түзгөн.
- Түргөн-Ак-Суу мөңгүсүнүн аянты 2021-жылы Жердин жасалма спутниктеринен жана учкучсуз учуучу аппараттардан алынган сүрөттөр менен эсептелгенде 5,16 км² аянтты түзгөн. Bing спутнигинин 2012-жылдагы сүрөтү боюнча эсептелген куймасы жок мөңгүнүн аянты 5,26 км² болгон. Натыйжада 9 жылдын ичинде мөңгү 0,10 км² же жалпы аянтынын 2% жоготкон.
- 2012-жылдан 2021-жылга чейинки 9 жылдын ичинде мөңгү тилинин чегинүүсү орточо 130 метр аралыкты түздү жана мөңгү жылына орточо 14.5 метр чегинип турганы аныктал.
- 2020-2021-жылдары мөңгүнүн топтолуу аймагынын аянты 2,29 км² же жалпы аянтынын 44%, ал эми абляция аймагы жалпы аянтынын 56% ээлеген. Абляция аймагында муздун эриши өткөн жылга караганда кыйла интенсивдүү болду. Түргөн-Ак-Суу мөңгүсүнүн массалык балансы 2020-2021-жылдары - 0,79 м.с.э. барабар болуп, мөңгү жыл ичинде 4,12 миллион тонна сууну жоготкон.

## АДАБИЯТТАР ТИЗМЕСИ

1. *Амандыков, А. Т. Оценки запасов ледниковых вод в Кыргызстане / А. Т. Амандыков, Т. Т. Шаршанбекова // Наука и инновационные технологии. – 2023. – № 1(26). – С. 18-25. – DOI 10.33942/sit042237. – EDN HGKTTC.*
2. *Р. Д. Забиров и Дж. Сыдыков, Каталог ледников СССР, том 14 Средняя Азия, выпуск 2 Киргизия, Часть 5 реки бассейна оз. Иссык-Куль, Ленинград: Гидрометиздат, 1976.*
3. *O. contributors, «Open Street Maps,» 2020. [В Интернете]. Available: https://planet.openstreetmap.org.*
4. *Госрегистр, «Система координат Kyrg-06,» Вебсайт Государственной*

*регистрационной службы при ПКР, [В Интернете]. Available: http://old.gosreg.kg/index.php?option=com_content&view=article&id=453. [Дата обращения: 2020].*

5. *Bing. [В Интернете]. Available: https://www.bing.com/maps.*
6. *[В Интернете]Available: https://zoom.earth/#view=42.312758,78.871333,15z/layers=esri.*
7. *Sentinel-2 (ESA) image courtesy of the U.S. Geological Survey.*
8. *Ruffner и Kevin Colney, Corona: America's First Satellite Program, History Satff Center for the Study of Intelligence. Central Intellitence Agency, 1995.*
9. *M. L. Mitasova H., «Interpolation by Regularized Spline with Tension: I. Theory and Implementation,» Mathematical Geology, № 25, pp. 641-655, 1993.*
10. *NASA, «SRTM Mission Overview,» Jet Propuslion Laboratory, [ВИнтернете]. Available: http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/missionoverview.html. [Дата обращения: 2020].*
11. *J. A. E. A. (JAXA), «ALOS Global Digital Surface Model "ALOS World 3D - 30m (AW3D30),» [ВИнтернете]. Available: https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/aw3d30/index.htm.*