

**Б.Т. Мамбетов¹, Т.С. Кертешев¹, Б.Д. Майсупова²,
А.Д. Утебекова^{1*}, Д.А. Сагынбек¹**

*Казахский национальный аграрный исследовательский университет,
г. Алматы, Республика Казахстан, mambetov.bulkair@kaznaru.edu.kz,
kerteshev.talgat@kaznaru.edu.kz, arunia190482@mail.ru*, Daniyar_18.95@mail.ru*

²НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет им.

С. Сейфуллина», г. Астана, Республика Казахстан, bagila.maisupova@mail.ru

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ РАБОТЫ ВЫСОХШЕГО ДНА АРАЛЬСКОГО МОРЯ

Аннотация

Аральский экологический кризис занимает особое место среди глобальных проблем и является результатом крупнейшего вмешательства человека в окружающую среду на планете. Сокращение площади Аральского моря привело к еще одной глобальной катастрофе: антропогенному опустыниванию.

До того, как Аральское море начало высыхать, оно считалось четвертым по величине озером в мире по площади после Каспийского моря, озера Верхнее (Северная Америка) и озера Виктория (Африка). Деградация Аральского моря началась в 1960-х годах, когда большие участки Сырдарьи и Амударьи были отведены для орошения и обеспечения бытовых нужд Туркменистана, Узбекистана и Южного Казахстана. В результате море значительно отошло от своих берегов и обнажило морское дно, которое было покрыто морскими солями, загрязненными пестицидами и другими химическими веществами [1,2].

В наши дни опустынивание является одной из самых серьезных проблем в мире. Опустынивание влечет за собой неожиданные и нежелательные последствия для человечества. Усиливающаяся деградация земель ускоряет снижение урожайности сельскохозяйственных культур, что в конечном итоге приведет к обнищанию местного населения и заставит людей покидать свои дома. По этой причине опустынивание является одной из наиболее тревожных проблем, стоящих сегодня перед человечеством. Смягчение последствий опустынивания может быть достигнуто только путем принятия широкомасштабных мер на национальном и международном уровнях с участием частных инвесторов.

Ключевые слова: Аральское море, эрозия, фитомелиорация, саксаул, тамарикс, лесомелиоративные насаждения, мелиоративные насаждения.

GTAMP 37.29.15

DOI <https://doi.org/10.37884/3-2023/30>

Т.А. Тілләкәрім^{1,2} [ORCID](https://orcid.org/10.0000/0000-0000-0000-0000), А.М. Қауазов¹ [ORCID](https://orcid.org/10.0000/0000-0000-0000-0000), А. Гауфров³ [ORCID](https://orcid.org/10.0000/0000-0000-0000-0000), С.Б. Саиров² [ORCID](https://orcid.org/10.0000/0000-0000-0000-0000)*

*¹әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан,
tillakarimtursyn@gmail.com*, kauazov.azamat@kaznu.kz*

²«Қазгидромет» РМК, Астана қ., Қазақстан, sairov_s@meteo.kz

*³Неміс жер туралы ғылымдарды зерттеу орталығы (GFZ), Потсдам, Германия,
gafurov@gfz-potsdam.de*

НҰРА-САРЫСУ СУШАРУАШЫЛЫҚ АЛАБЫНДА ҚАР ЖАМЫЛҒЫСЫ ЫЛҒАЛ ҚОРЫНЫҢ УАҚЫТТЫҚ-КЕҢІСТІКТІК ӨЗГЕРУІ

Аңдатпа

Мақалада Нұра-Сарысу сушаруашылық алабында тұрақты қар жамылғысының орнатылуы, бұзылуы, орташа күндер саны мен қар жамылғысы ылғал қорының уақыттық-кеңістіктік өзгеруі және оның статистикалық сипаттамалары берілген. Жұмыстың негізгі мақсаты қар жамылғысының ылғал қорының өзгеру динамикасын зерттеу болып табылады, өйткені қар жамылғысы климаттық, гидрологиялық және гляциологиялық процестерде

маңызды рөл атқарады, сонымен бірге бұл климат түзуші күшті факторы болып табылады. Осы мақсатта зерттеу жұмысында алапта орналасқан 14 метеорологиялық станциялардың 1971-2019 жж. кезеңі үшін «Қазгидромет» РМК мемлекеттік бақылау желісінің мәліметтері пайдаланылды. Талдау математикалық статистика әдістерін қолдана отырып жүргізілді: қатарынан екі кезеңдегі орташа көпжылдық мәндерді салыстыру арқылы: базалық – 1971-1995 жж. және заманауи – 1996-2019 жж.; өзгеру тенденциясын анықтау үшін уақыт қатарларын сызықтық жуықтау және Манн-Кендалл әдістері қолданылды. Тұрақты қар жамылғысы алапта қазанның соңы, қараша айының басында орнатылатыны, ал толық жойылуы сәуір айының алғашқы онкүндіктеріне сәйкес келетіндігі анықталды. Қар жамылғысымен болған күндер саны алап үшін орташа 128 күнді құрайды. Тұрақты қар жамылғысының орнатылуы мен жойылуы, күндер саны зоналды заңдылыққа ие екендігі анықталды. Ылғал қоры алапта 28,3 мм (Ақадыр) мен 118,5 мм (Қызылту) аралығында ауытқитыны, ал оның алап бойынша орташа көпжылдық мәні 64,0 мм құрайтыны анықталды. Жалпы алап үшін ылғал қорының 1971-2019 жж. кезеңі үшін әрбір 10 жылға 0,96 мм статистикалық маңызды емес өсуі байқалады. Статистикалық маңызды өсу тек Ақсу-Аюлы станциясында (10,3 мм/10 жыл), ал төмендеу Қарағанды АШ станциясында (6,2 мм/10 жыл) байқалады. Аталған маңызды трендер сонымен қатар Манн-Кендалл тренд тесті көмегімен де анықталды. Қалған 12 станция үшін ылғал қорының өзгеруі статистикалық маңызға ие еместігі анықталды.

Кілт сөздер: климат, қар жамылғысы, тренд, салыстырмалы талдау, Манн-Кендалл тесті, Қазақстан

Кіріспе

Қар жамылғысы – ауа-райының қалыптасуына айтарлықтай әсер ететін қуатты климат түзуші және климаттық, гидрологиялық, гляциологиялық процестердің өзара әрекеттесуінде маңызды рөл атқарушы фактор [1-3]. Қазақстан территориясы маусымдық қар жамылғылы аумаққа жатады және оның биік таулы аумақтары тұрақты қар жамылғылы болып табылады. Жергілікті көптеген климаттық және орографиялық жағдайлар қар жамылғысының қалыптасуын, жатуын және оның бұзылуын анықтайды. Сонымен қатар, қар жамылғысы өзендердің негізгі немесе қосымша қоректену көзі бола отырып, топырақта, гидрологиялық айналымында ылғал қорының жиналуында маңызды рөл атқарады [4-6].

Қар жамылғысының таралуы, жату ұзақтығы, еру шарттары және көктемгі еріген қар суы халық шаруашылығының түрлі салаларында, әсіресе ауыл шаруашылығында қар жамылғысының ылғал қоры өнімнің өсуіне ықпал етеді [7]. Сондықтан қар жамылғысының пайда болу процестері, оны пайдалау және оның еруі халық шаруашылығында, әсіресе климаттың өзгеруі жағдайында үлкен маңызға ие [8].

Қар жамылғысының көптеген салаларда маңызын ескере отырып, қазіргі климаттың жаһандық өзгеруінің [3, 9] орын алуы кезеңінде зерттеу аса маңызды [10-11]. В.М. Котляковпен жаһандық климаттың өзгеруі Солтүстік жарты шарда (СЖШ) қар жамылғысының өсуіне алып келетіндігі көрсетілді [12]. Ғалымдар 1960 жылдардан бастап СЖШ-да қар жамылғысының таралуын жерсеріктік бақылау басталған кезде оның ауданының өсу тенденциясын байқады. Бұл жаһандық жылыну дәуірінде ауа температурасы жоғарылаған сайын ауа массаларының ылғал мөлшері де өсетіндігімен түсіндіріледі, сондықтан суық жерлерде қардың мөлшері артуымен түсіндіріледі. Бұл қар жамылғысының атмосфера мен оның айналымындағы кез-келген өзгерістерге үлкен сезімталдығын көрсетеді.

Қар жамылғысы сипаттамаларының жаһандық климаттың өзгеруі салдарынан зерттеуге көптеген зерттеу жұмыстары арналды [13-16]. Зерттеу жұмысының нәтижелері қар жамылғысы сипаттамаларының әртүрлі бағытты өзгерулерін көрсетеді. Солтүстік Еуразия құрлығының батыс және оңтүстік шекараларындағы қар жамылғысы ауданының азаюы [15-16] жоғары ендіктердегі қар жамылғысының аккумуляциясының жоғарылауының салдары [13, 17-19] болып табылады.

В.В. Попованың жұмысында [20] Солтүстік Еуразияның ауқымды аумағында қар жамылғысы биіктігінің өзгеруінің таралу заңдылықтары жергілікті деңгейде қар

жамылғысының жылу, ылғал айналымы процесіндегі орнын және жаһандық тұрғыдан қар жамылғысының аккумуляциясының өзгеруін, оның болашақтағы өзгеруін бағалау мақсатында зерттелді. Зерттеу нәтижесінде қар жамылғысы биіктігінің ең үлкен өзгергіштігі Арктика жағалауында орын алғандығы анықталды, бұл өзгергіштік 1970 жылдан бастап орын алып жатқан ауа температурасы аномалияларының оң болуымен, Еуразияның солтүстігінде зоналды алмасу мен циклондық белсенділіктің күшеюімен орын алғандығын көрсетеді. Сонымен қатар, Еуразияның солтүстігінде 1936-1995 жж. кезеңінде қар жамылғысы орташа биіктігінің өсуі байқалады [21].

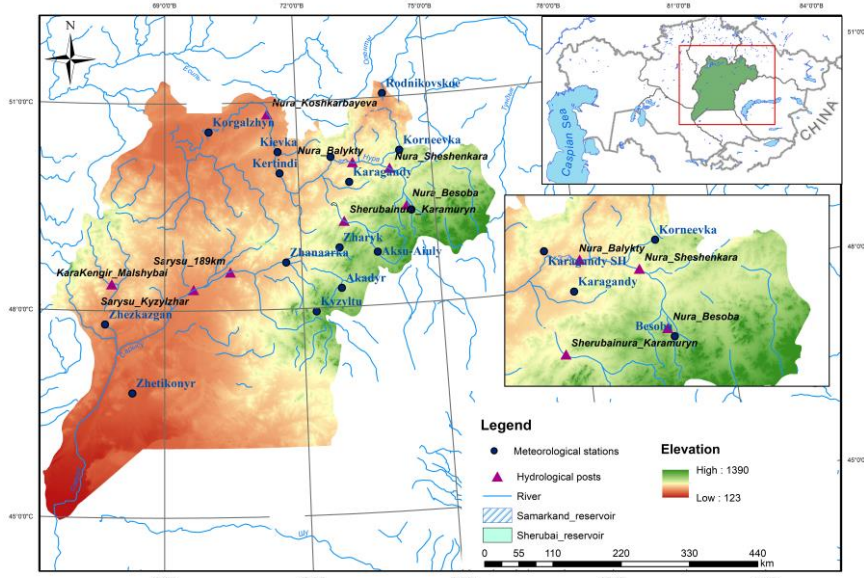
Қазақстан территориясы үшін қар жамылғысының негізгі сипаттамаларын зерттеу бірқатар жұмыстарда [22-26] қарастырылған.

Қар жамылғысы ауданының заманауи кезең үшін өзгеруі [27] зерттеу жұмысында қарастырылды. Зерттеу нәтижесі қар жамылғысының еруінің статистикалық параметрлері 2000-2010 және 2011-2022 жж. кезеңдері үшін талданып, алғашқы кезеңде 2004-2011 жж. аралығында қар жамылғысы ауданының қысқа мерзімдік ұлғаюы байқалғанын, ал соңғы кезеңде ауданның азайғандығын көрсетті. Жалпы 2000-2022 жж. кезеңі үшін қар жамылғысы ауданының әрбір 10 жыл үшін статистикалық маңызды емес 4 %-ға азаю тенденциясын байқалғандығы көрсетілген. Әсіресе, мұндай өзгерістер ылғал тапшы аудандарда аса үлкен маңызға ие.

Осылайша, қар жамылғысының негізгі сипаттамаларын, яғни биіктігін, жату ауданын, ылғал қорын, қарастыру климаттың өзгеруі жағдайында ауыл шаруашылығы, су шаруашылығы салалары үшін аса үлкен маңызға ие. Әсіресе ылғал тапшы Қазақстанның жазық аудандарында өзен алаптарының негізгі қорек көзі болып табылатын қар жамылғысы ылғал қорының өзгеру динамикасын қарастыру жұмыстың негізгі мақсаты болып табылады.

Зерттеу объектісі мен мәліметтері.

Зерттеу жұмысының негізгі объектісі – Нұра-Сарысу сушаруашылық алабы (1-сурет). Сушаруашылық алабы Нұра, Сарысу өзендері мен Теңіз, Қарасор көлдерін құрайды. Алаптың территориясы ылғал тапшы аудандарға жатады. Алапта орналасқан өзендердің жылдық ағындысының 90 %-ы көктемгі су тасу кезеңінде өтеді. Ал бұл аудандарда орналасқан өзендердің негізгі қорек көзі қар жамылғысы болып табылады.



Сурет 1 - Нұра-Сарысу сушаруашылық алабының жер бедері және метеорологиялық станциялардың орналасу картасы

Нұра-Сарысу сушаруашылық алаптарында қар жамылғысы ылғал қорының өзгеру динамикасын зерттеу мақсатында «Қазгидромет» РМК мемлекеттік бақылау желісінің 14 метеорологиялық станциясының (МС) 1971-2019 жж. кезеңіндегі мәліметтері қолданылды.

Зерттеу әдістері

Әдетте, метеорологиялық бақылау қатарлары, әсіресе қар жамылғысының ұзақ уақыттық қатарының болуы сирек және уақыттық қатарларда үзілістері болады. Мұндай жағдайда ұзақ уақыттық қатарды алудың жалғыз жолы – жақында орналасқан станциялардың ұзақ уақыттық қатарлары мәліметтері негізінде қалпына келтіру [28]. Қазіргі таңда гидрометеорология саласында мәліметтерді қалпына келтірудің көптеген әдістері бар. Бұл жұмыста уақыттық қатарлардағы үзілістерді қалпына келтіру үшін бір немесе бірнеше аналог-станциялардың негізінде жұптық немесе көптік регрессия теңдеулері (1) негізінде әрбір станция үшін жеке аналог-станция таңдалып жүргізілді:

$$Y = k_0 + k_1 Y_1 + \dots + k_n Y_n \quad (1)$$

Уақыттық қатарлардағы үзілістерді сапалы түрде қалпына келтіру мақсатында регрессия теңдеулеріне келесі тиімділік критерийлері (2) қолданылуы тиіс:

$$n' \geq 6 - 10; R \geq R_{кр}; R/\sigma_R \geq A_{кр}; k/\sigma_k \geq B_{кр} \quad (2)$$

Климатологиялық тәжірибеде деректерді талдаудың бастапқы кезеңінде әртүрлі статистикалық тесттерді қолдана отырып, метеорологиялық қатарлардың бақылау нәтижелерінің біртектілігіне тексеру жүргізеді. Аталған мақсатта барлық бақылау мәліметтері деректері Дүниежүзілік метеорологиялық ұйым (ДМУ) нұсқаулығына сәйкес алғашқы бақылау деректерінің сапасына және алынған метеорологиялық сипаттамалар қатарының біркелкілігіне тексеру жұмысы жүргізілді. Осылайша, бұл жұмыста екі кезеңдегі орташа және дисперсия мәндеріндегі айырмашылықтың статистикалық маңыздылығын тексеру (1971-1990 жылдарға қатысты 1991-2019) $\alpha = 0,05$ маңыздылық деңгейінде сәйкесінше Стьюденттің t-критерийін және Фишердің F-критерийін қолдана отырып жүргізілді.

Қар жамылғысы ылғал қорының уақыттық қатары зерттеу жұмысын жүргізуге репрезентативті уақыт кезеңін қамтитындығын анықтау мақсатында салыстырмалы орташа квадраттық қателік пен вариация коэффициентінің салыстырмалы орташа квадраттық қателігі есептелді. Қатардың орташа көпжылдық шамасының салыстырмалы орташа квадраттық қателігінің мәні (стандартты ауытқу) 3-теңдеу [29] бойынша есептелді:

$$\sigma_{Q_0} = \frac{C_v}{\sqrt{n}} \cdot 100\%, \quad (3)$$

мұндағы, C_v – n жылдағы бірқатар жылдық мәндердің өзгеру коэффициенті.

Вариация коэффициентінің салыстырмалы орташа квадраттық қателігі 4-теңдеудің көмегімен [23] анықталды:

$$\sigma_{C_v} = \frac{\sqrt{1+C_v^2}}{\sqrt{2n}} \cdot 100\% \quad (4)$$

Егер қарастырылып отырған кезең репрезентативті болса және көпжылдық шаманың салыстырмалы қателігі 5-10 %-дан аспаса, ал вариация (өзгергіштік) коэффициенті 10-15 %-дан аспаса, онда бақылау кезеңі жылдық нормасының есептік мәндерін белгілеу үшін жеткілікті болып саналады. Репрезентативтілік бірқатар бақылаулардың ұзақтығына және өзгергіштік коэффициентіне байланысты.

Қар жамылғысы ылғал қорының өзгеруі бірнеше әдістермен: 1971-1994 және 1995-2019 жылдардағы қатарынан екі кезеңдегі орташа көпжылдық мәндерді салыстыру арқылы және уақыттық қатарлардың сызықтық аппроксимациясы (жуықтау) арқылы бағаланды. 1971-1994 жылдардағы базалық кезеңге қатысты есептелген 1995-2019 жылдар кезеңіндегі қар жамылғысындағы ылғал қорларының уақыттық қатарлары және аумағы бойынша кеңістікте

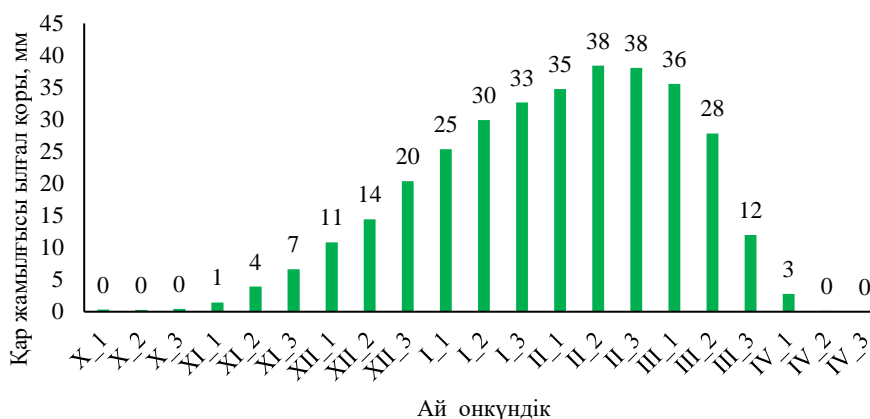
орташаланған сушаруашылығы алаптары қардағы ылғал қорлары режимінің қазіргі заманғы өзгерістерінің сипаты туралы жалпы түсінік береді.

Сонымен қатар, қар жамылғысы ылғал қорының уақыттық қатарларында тенденциялардың маңыздылығын анықтау мақсатында гидрометеорология саласында кең қолданысқа ие Ман-Кендаллдың параметрлік емес тесті [30, 31] қолданылды. Бұл тест Y мәндерінің уақыт өте келе ұлғаю немесе төмендеу үрдісі бар-жоғын бағалайды, бұл монотонды тренді регрессиялық талдаудың параметрлік емес түрі болып табылады.

Зерттеу нәтижелері мен талқылау

Тұрақты қар жамылғысының орнатылуы және жойылуы. Нұра-Сарысу сушаруашылық алабында орналасқан 14 метеорологиялық станцияның (МС) 1971-2019 жж. орташаланған онкүндік көпжылдық қар жамылғысы ылғал қорының бақылау мәліметтері негізінде, қар жамылғысының жүрісін талдау барысында тұрақты қар жамылғысы қазан айының үшінші онкүндігі (X_3) мен қарашаның бірінші онкүндігі (XI_1) аралығында орнатылып, максималды мәніне ақпан айының екінші және үшінші онкүндігі (II_2, II_3) аралығында жететіндігі анықталды. Ал ҚазССР гидрометеорологиялық қызметінің басқармасының мәліметтеріне [32] сәйкес, қар жамылғысы максималды ылғал қоры Қарағанды облысының оңтүстік аймағында 20/II – 1/III күндері, солтүстік және ұсақ шоқының биік бөліктерінде 10-15/III кезінде болатыны көрсетілген. Заманауи кезеңдегі мәліметтермен салыстырғанда қар жамылғысы максималды ылғал қорының орнатылуы 1-2 онкүндікке жылжығандығы байқалады.

Қар жамылғысының максималды ылғал қоры орнатылғанға дейін ылғал қоры 1-6 мм/онкүндікке өссе, алап үшін орташа есеппен 3 мм/онкүндік жылдамдығымен өсетіні байқалады (2-сурет). Сонымен бірге, көпжылдық мәліметтерге сәйкес, қар жамылғысының толығымен жойылуы сәуір айының екінші онкүндігіне (IV_2) сәйкес келетіндігін көруге болады. Қар жамылғысының еру кезеңі алап үшін наурыз айының бірінші онкүндігіне (III_1) сәйкес келеді. Қар жамылғысының еру жылдамдығы 3-16 мм/онкүндікке ерісе, орташа алғанда 8 мм/онкүндікке еритіні байқалады.



Сурет 2 - Нұра-Сарысу сушаруашылық алабында 1971-2019 жылдар кезеңінде қар жамылғысындағы ылғал қорының онкүндіктер бойынша таралуы

Нұра-Сарысу сушаруашылық алабында 1971-2019 жж. кезеңінде қар жамылғысымен болатын орташа күндер саны 128 күнді құрайды (1-кесте). Қар жамылғысымен болған күндер саны алапта солтүстіктен оңтүстікке қарай азаю заңдылығына ие. Мәселен, солтүстік аймағында орналасқан Қорғалжын, Кертінді станцияларында сәйкесінше 142, 132 күн болса, оңтүстікке қарай Жезқазған, Жетіқоңыр станцияларында 106, 92 күнге азаяды. [32] жұмысында өткен ғасырдың 60-жылдарындағы зерттеулер сәйкес тұрақты қар жамылғысы Қазақтың ұсақ шоқыларында 130-150 күннен оңтүстікте 100-120 күнге дейін сақталатыны

көрсетілген. Яғни, алап шегінде қар жамылғысымен болатын күндер саны орта есеппен 10 күнге азайғандығын көруімізге болады.

Кесте 1 - Нұра-Сарысу сушаруашылық алабындағы метеорологиялық станциялардың қар жамылғысының орнатылу, бұзылу күндер саны

№	Метеорологиялық станция	Қар жамылғысымен болған күндер саны	Тұрақты қар жамылғысының орнатылу күні			Тұрақты қар жамылғысының жойылу күні		
			орташа	ерте	кеш	орташа	ерте	кеш
1	Қорғалжын	142	15.11	25.10	14.12	06.04	07.03	07.05
2	Ақадыр	117	13.11	01.11	12.01	21.03	28.02	08.04
3	Ақсу-Аюлы	140	11.11	18.10	03.12	30.03	13.03	15.04
4	Бесоба	129	17.11	18.10	23.12	26.03	06.03	19.04
5	Жаңаарқа	128	21.11	30.10	23.12	29.03	08.03	13.04
6	Жарық	137	15.11	18.10	23.12	01.04	15.03	16.04
7	Жезқазған	106	12.11	07.11	01.02	19.03	01.03	06.04
8	Жетіқоңыр	92	14.12	14.11	19.02	09.03	11.01	05.04
9	Қарағанды	136	12.11	16.10	04.12	29.03	07.03	12.04
10	Қарағанды АШ	141	14.11	18.10	13.12	03.04	21.03	15.04
11	Кертінді	132	18.11	02.11	12.01	31.03	14.01	17.04
12	Қызылту	131	24.11	01.11	12.01	04.04	17.03	15.04
13	Корнеевка	140	13.11	16.10	01.02	01.04	01.02	19.04
14	Родниковское	121	20.11	11.10	02.01	20.03	31.01	16.04
Орташа		128	17.11	25.10	02.01	27.03	24.02	15.04

Тұрақты қар жамылғысының орташа орнатылуы күні алап үшін орташа алғанда қарашаның екінші онкүндігінде, ерте орнатылуы қазанның үшінші онкүндігінде байқалса, кеш орнатылуы қаңтардың алғашқы онкүндігінде байқалатыны анықталды. Алаптың оңтүстігіне қарай қар жамылғысының тұрақты орнатылуы кеш жүретіні байқалады, яғни Жетіқоңыр станциясында көпжылдық мәліметтер негізінде орташа алғанда 14 желтоқсанда орнатылады. Ал қар жамылғысының ерте орнатылуы сәйкесінше алаптың солтүстік аймақтарында байқалады. Тұрақты қар жамылғысының кеш орнатылуы алаптың оңтүстік аймақтарында, тіпті ақпан айында да (Жезқазған, Жетіқоңыр) бақыланатыны анықталды.

Тұрақты қар жамылғысының жойылуы алап үшін орта есеппен 27 наурызда, алап шегінде тұрақты қар жамылғысының ерте орнатылуы солтүстік аймақтарда байқалып, ақпан айының екінші онкүндігінен басталса, Жетіқоңыр станциясында ақпан айында байқалады. Тұрақты қар жамылғысының кеш жойылуы 15 сәуірге сәйкес келеді. Ал ең кеш жойылуы Қорғалжын станциясында 7 мамырда байқалып, ерте жойылуы сәуірдің алғашқы онкүндігінде Жезқазған, Жетіқоңыр станцияларына сәйкес келеді.

Осылайша, Нұра-Сарысу сушаруашылығы алабында тұрақты қар жамылғысының орнатылуы мен жойылуы зоналды заңдылыққа ие.

Қар жамылғысы ылғал қорының кеңістіктік-уақыттық таралуы. Қар жамылғысындағы ылғал қорының кеңістіктік-уақыттық таралуын зерттеу үшін максималды ылғал қорының жыл сайынғы деректері пайдаланылды. Өйткені, бұл шама көктемгі су тасқыны кезеңінде, сондай-ақ ауыл шаруашылығы үшін маңызы үлкен.

Нұра-Сарысу сушаруашылығы алабында орналасқан метеорологиялық станциялардың қар жамылғысы максималды ылғал қоры мәндерінің негізгі статистикалық сипаттамалары мен әртүрлі қамтамасыздықтағы мәндері есептелді (2-кесте).

Көпжылдық мәліметтер негізінде есептелген қар жамылғысы ылғал қоры әрбір метеорологиялық станция үшін нормасы ретінде қабылдауға болады. Бұл ретте норманың дұрыс есептік кезеңге есептелгендігін анықтау үшін көпжылдық мәннің салыстырмалы

қателігі мен уақыттық қатардың вариация коэффициентінің қателігі есептелді. Қар жамылғысы максималды ылғал қоры нормаларының салыстырмалы қателіктері (σ_{SWE0} , %) 4,3 – 9,3 % аралығында ауытқыса, қатардың вариация (өзгергіштік) коэффициентінің қателігі 10,5 – 12,0 % тең болды. Шартқа сәйкес нормаларының салыстырмалы қателіктері 10 %-дан және вариация коэффициентінің қателігі 15 %-дан аспағандықтан көпжылдық мәліметтер негізінде есептік кезеңнің репрезентативті екендігі анықталып, 1971-2019 жж. көпжылдық орташа мәндер «норма» ретінде қабылданды (2-кесте).

Кесте 2 - 1971-2019 жж. кезеңінде Нұра-Сарысу сушаруашылық алабындағы қар жамылғысының максималды ылғал қорының статистикалық сипаттамалары және олардың әртүрлі қамтамасыздықтағы мәндері

№	Метеорологиялық станция	Орташа көпжылдық SWE_{max} сипаттамалары					Әртүрлі қамтамасыздықтағы қар жамылғысындағы максималды ылғал қоры мәндері SWE_{max} , мм						
		SWE, мм	σ_{SWE0} , %	C_v	σ_{Cv} , %	C_s	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%
1	Қорғалжын	87,7	4,3	0,30	10,5	0,60	135,1	122,7	104,0	85,1	68,8	56,1	49,6
2	Ақадыр	28,3	7,1	0,50	11,3	1,00	54,9	47,3	36,4	26,0	18,0	12,3	9,62
3	Ақсу-Аюлы	71,6	5,6	0,39	10,8	0,78	122,9	109,0	88,3	68,1	51,3	38,8	32,8
4	Бесоба	35,3	4,6	0,32	10,6	0,64	55,7	50,3	42,3	34,1	27,2	21,8	19,0
5	Жаңаарка	54,4	5,1	0,36	10,7	0,72	90,1	80,5	66,3	52,1	40,3	31,3	26,8
6	Жарық	87,5	4,3	0,30	10,5	0,60	134,8	122,4	103,8	84,9	68,6	56,0	49,4
7	Жезқазған	54,7	5,7	0,40	10,9	0,80	95,0	84,0	67,7	51,9	38,7	29,1	24,5
8	Жетіқоңыр	56,1	9,3	0,65	12,0	1,63	127,6	104,4	73,4	46,8	29,7	20,2	16,4
9	Қарағанды	81,0	4,3	0,30	10,5	0,60	124,7	113,3	96,1	78,6	63,5	51,8	45,8
10	Қарағанды АШ	72,5	5,1	0,36	10,7	0,72	120,1	107,3	88,3	69,4	53,7	41,7	36,7
11	Кертінді	54,6	4,7	0,33	10,6	0,66	87,3	78,6	64,7	52,6	41,6	33,2	28,7
12	Қызылту	118,5	4,3	0,30	10,5	0,60	182,5	165,8	140,5	115,0	92,9	75,8	67,0
13	Корнеевка	57,1	5,4	0,38	10,8	0,76	96,9	86,2	70,1	54,5	41,4	31,5	26,8
14	Родниковское	32,8	5,7	0,40	10,9	0,60	56,4	50,3	40,9	31,5	23,4	17,1	13,8
Орташа		63,7	2,57	0,18	10,3	0,36	83,6	78,8	71,1	63,0	56,7	49,5	46,2

Жылдың ылғал қорына қатысты қар жамылғысының ылғал қорына тапшы, норма және аса ылғалды болуын анықтау үшін орташа алаптық мәлімет негізінде қамтамасыз ету қисығы тұрғызылды. Қамтамасыздық шамасына қарай жылдың ылғалдылығы В. Андреяновтың классификациясына сәйкес жіктелді: 0-20 % - аса ылғалды; 21-40 % - ылғалды; 41-60 % - орташа; 61-80 % - тапшы; 81-100 % - аса тапшы.

Нұра-Сарысу сушаруашылығы алабы үшін қар жамылғысындағы ылғал қоры аса ылғалды жылдары 75,2 мм жоғары, ылғалды жылдары 68,6 – 75,1 мм аралығында, ылғалдылығы орташа жылдары 58,1 – 68,7 мм, ылғал қоры тапшы жылдары 52,5 – 58,2 мм, аса тапшы жылдары 52,4 мм төмен болатындығы анықталды.

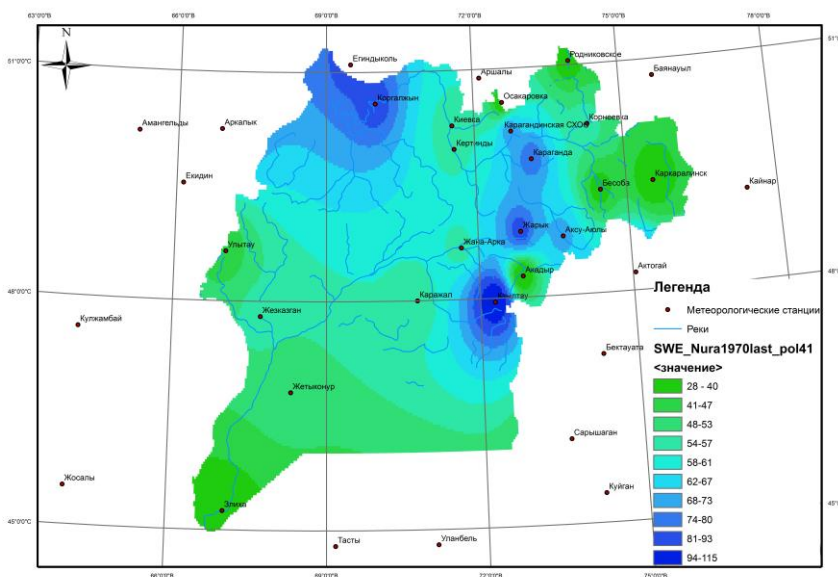
Көп қарлы және аз қарлы қысты және осы фазалардың өзгеру сәтін анықтау үшін гидрометеорологиялық зерттеулерде әртүрлі фазаларды анықтау үшін кеңінен қолданылатын айырмашылық интегралды қисығы (3-сурет) Нұра-Сарысу сушаруашылығы алабының қар жамылғысындағы максималды ылғал қорының айырымдық интегралды қисығына сәйкес, 1970 жылдан 1986 жылға дейін қар жамылғысы ылғал қорының төмендеу кезеңі, 1987-1994 жж. – жоғарылау кезеңі, 1995-2012 жж. кезеңінде, 200-2001 жж. үлкен емес ұлғаю циклімен қатар, ылғал қорының төмендеу тенденциясы байқалады. 2003 жылдан бастап қар жамылғысының өсуі байқалатынын көруге болады.



Сурет 3 - Нұра-Сарысу сушаруашылығы алабының орташа аудандық қар жамылғысы ылғал қорының 1971-2019 жж. кезеңіндегі айырымдық интегралды қисығы

Қар жамылғысының максималды ылғал қорының (\overline{SWE}_{max}) кеңістіктік таралуын анықтау мақсатында ArcGIS 10.2 геоақпараттық жүйесі көмегімен карта тұрғызылды (4-сурет).

1971-2019 жж. көпжылдық кезеңіндегі қар жамылғысындағы максималды ылғал қорының (\overline{SWE}_{max}) кеңістіктік таралуын талдау нәтижесі Нұра-Сарысу сушаруашылық алабында қар жамылғысы ылғал қоры 28 мм (Ақадыр МС) – 118 мм (Қызылту МС) аралығында өзгеретіні, ал оның алап бойынша орташа көпжылдық мәні 64,0 мм құрайтыны анықталды. Нұра-Сарысу алабы аумағындағы 4-суреттен көріп отырғанымыздай, қар жамылғысының таралуы ендіктік заңдылыққа бағынатыны, алайда Сарысу өзені ағынының қалыптасуы аумағында, шындары 1000-1100 м-ден асатын Ақтау таулары орналасқан, жер бедерінің әсерінен заңдылық айтарлықтай бұзылады. Алаптың солтүстік бөлігінде, Сары Кеңгір өзені алабының ауданында және Сарысу өзенінің жоғарғы ағысында \overline{SWE}_{max} мәні 90-118 мм-ге дейін және алаптың оңтүстік бөлігінде 30-40 мм-ге азаяды. [33] жұмысында 1960-жылдары алаптың оңтүстігіне қарай, Сарысудың ең төменгі ағысында, қардағы ылғал қоры 50 мм-ге жетпейтіні көрсетілген. Сонымен бірге, қардың ең көп жиналуы өзен арналарында және уақытша су ағындарында байқалады. Қар мол болатын қыста оларда 2-3 есе көп жиналады, ал қыстың орташа күрделілігі мен қарлы боран саны алаптың қалған бөлігінен 1,5 есе көп.



Сурет 4 - 1971-2019 жылдар аралығында Нұра-Сарысу сушаруашылық алабында қар жамылғысындағы орташа көпжылдық максималды су қорының кеңістіктік таралуы

\overline{SWE}_{max} өзгеруін бағалау үшін кеңістіктік таралуын анықтаумен қатар, оның уақыттық өзгерістерін зерттеу маңызды. Осы мақсатта 1971-2019 жж. кезеңіндегі \overline{SWE}_{max} өзгеру тенденциясы бағаланды. Бұл мақсатта қар жамылғысы максималды ылғал қорының уақыттық өзгергіштігін анықтайтын негізгі статистикалық сипаттамалар: сызықтық трендтің коэффициенті, детерминация коэффициенті, Фишердің F үлестіру критерийі есептеліп, 3-кестеде нәтижелері берілген.

Тренд компонентінің уақыттық қатарының жалпы дисперсиясына қосқан үлесінің маңыздылығы детерминация коэффициенті (D) көмегімен бағаланды. Егер детерминация коэффициенті 5% - дан асса, тренд маңызды деп қабылданады.

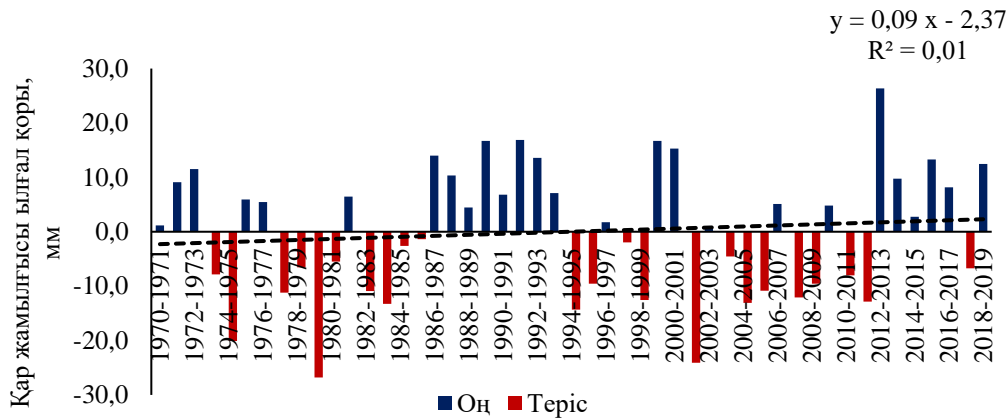
Нұра-Сарысу сушаруашылық алабында статистикалық шамалардың есептеулері нәтижесі алапта қар жамылғысы максималды ылғал қоры 0,7 – 10,3 мм/10 жыл жылдамдығымен өскенін, сонымен бірге жекелеген метеорологиялық станцияларда 0,5 – 6,2 мм/10 жыл жылдамдығымен азайғандығын көрсетті. \overline{SWE}_{max} өсуінің статистикалық маңызды трендтері Ақсу-Аюлы және Қарағанды АШ станцияларында орын алғандығы анықталды. Ақсу-Аюлы станциясында қар жамылғысы ылғал қоры 10,3 мм/10 жыл жылдамдықпен өссе, Қарағанды АШ станциясында 6,2 мм/10 жыл жылдамдығымен азайғандығын байқауға болады. Аталған станциялардағы қар жамылғысы ылғал қорының өзгеру трендтерінің маңыздылығы детерминация коэффициенті көрсеткіші мен Фишердің F үлестіру критерийімен бағаланды (3-кесте).

Кесте 3 - Нұра-Сарысу сушаруашылық алабындағы метеорологиялық станциялардың 1971-2019 жж. кезеңіндегі қар жамылғысы ылғал қорының өзгеруінің статистикалық көрсеткіштері

№	Метеорологиялық станция	Статистикалық көрсеткіш				Ман-Кендалл параметрлік емес тесті		
		a2, мм/10 жыл	R2, %	R2	Фишер F	z-stat	p-value	trend
1	Қорғалжын	2,1	1,3	0,0	0,7	0,629	0,529	no
2	Акадыр	1,6	2,5	0,0	1,3	0,691	0,490	no
3	Ақсу-Аюлы	10,3	26,9	0,3	18,1	3,941	0,000	yes
4	Бесоба	0,0	0,0	0,0	0,0	0,155	0,877	no
5	Жаңаарка	-0,5	0,1	0,0	0,1	0,000	1,000	no
6	Жарық	0,6	0,1	0,0	0,1	-0,086	0,931	no
7	Жезқазған	-0,5	0,1	0,0	0,1	-0,448	0,654	no
8	Жетіқоңыр	-3,4	1,8	0,0	0,9	-1,164	0,244	no
9	Қарағанды	4,6	7,1	0,1	3,8	1,691	0,091	no
10	Қарағанды АШ	-6,2	11,3	0,1	6,2	-2,242	0,025	yes
11	Кертінді	2,4	3,7	0,0	1,9	1,570	0,117	no
12	Қызылту	-1,4	0,3	0,0	0,2	-0,310	0,756	no
13	Корнеевка	3,1	4,1	0,0	2,1	1,328	0,184	no
14	Родниковское	0,7	0,5	0,0	0,3	0,612	0,540	no
	орташа	0,96	4,27	0,04	2,56	0,45	0,46	no

Тренд құраушыларының маңызды өзгерістері негізгі статистикалық көрсеткіштен бөлек Манн-Кендаллдың параметрлік емес тесті көмегімен де есептелді. Тест есептеулері нәтижесіне сәйкес, Нұра-Сарысу сушаруашылығы алабында Ақсу-Аюлы және Қарағанды АШ станция мәліметтерінде трендтің маңыздылығы анықталды, ал қалған станцияларда тренддердің өзгеруі маңыздылыққа ие емес. 5 % маңыздылық деңгейіне сәйкес, Z-stat көрсеткіші бойынша ($|Z-stat| > 1,96$) Ақсу-Аюлы (+3,941) станциясында трендтің өсуі, Қарағанды АШ (-2,242) станциясында трендтің төмендеуі байқалады.

Жалпы алаптық деңгейде қар жамылғысы максималды ылғал қорының трендтері өзгеруі маңызды еместігі анықталды (5-сурет).

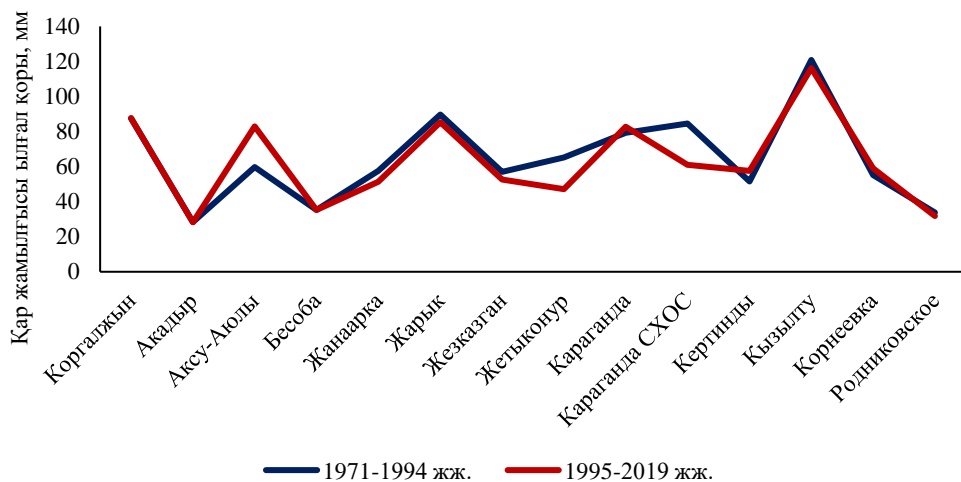


Сурет 5 - Нұра-Сарысу сушаруашылығы алабының орташа аудандық қар жамылғысы ылғал қоры аномалияларының 1971-2019 жж. кезеңінде таралуы

Қар жамылғысы максималды ылғал қорының климаттың өзгеруі жағдайында өзгеруін анықтау мақсатында көпжылдық уақыттық қатары теңдеу екі кезеңге: 1971-1994 жж. және 1995-2019 жж. бөлініп қарастырылды (6-сурет).

Нұра-Сарысу сушаруашылығы алабы аумағында 1971-1994 жж. (базалық) және 1995-2019 жж. (қазіргі заманғы) қатарынан екі кезеңдегі орташа көпжылдық мәндерін салыстыру әдісімен өзгеруін бағалау барысында \overline{SWE}_{max} шамасы 0,1 – 23,3 мм аралығында өзгергендігі байқалады (4-кесте В-қосымшасы). Қар жамылғысы ылғал қорының азаюы алаптың оңтүстік аймақтарында байқалса, Нұра өзені алабы аймағында ылғал қорының орта есеппен 3,0 – 4,0 мм өскендігі байқалады. Сонымен қатар, Нұра өзені су жинау алабының бастауында орналасқан Ақсу-Аюлы станциясында ылғал қоры 23,2 мм (59,7 мм-ден 82,9 мм дейін) жоғарылауы байқалады. Алайда, Нұра өзені алабында орналасқан Қарағанды АШ станциясында ылғал қорының 23,6 мм азайғандығы анықталды.

Сарысу өзені алабында орналасқан барлық станцияларда ылғал орының азаюы байқалады, мәселен, Жетіқоңыр станциясында 18,1 мм-ге (65,2 мм-ден 47,1 мм дейін) азайса, қалған станцияларда 4,3 – 6,3 мм азайған.



Сурет 6 - Нұра-Сарысу сушаруашылығы алабында 1971-1994 жж. және 1995-2019 жж. қар жамылғысы максималды ылғал қорының өзгеруі

Осылайша, Нұра-Сарысу алабында орналасқан станцияларда қар жамылғысы ылғал қоры климаттың өзгеруі кезеңінде, Қарағанды АШ станция мәліметін ескермегенде, орта есеппен 3,0 мм өскендігі байқалса, ал Сарысу өзен алабында орналасқан станцияларда орта есеппен 6,3 мм азайғандығы байқалады.

Жалпы Нұра-Сарысу сушаруашылығы алабында алаптық деңгейде қар жамылғысы максималды ылғал қорының трендтері өзгеруі маңызды еместігі анықталды.

Қорытынды

Нұра-Сарысу сушаруашылық алабында 1971-2019 жж. кезеңінде қар жамылғысы мен оның ылғал қорының уақыттық-кеңістіктік өзгеруін зерттеу барысында келесі нәтижелер алынды:

- Алапта тұрақты қар жамылғысы қазан айының соңғы онкүндігі мен қараша айының алғашқы онкүндігіне орнатылатыны, максималды мәніне ақпан айының екінші, үшінші онкүндігінде жететіндігі, сонымен бірге тұрақты қар жамылғысының толық жойылуы сәуір айының екінші онкүндігінде орын алатындығы;

- Қар жамылғысымен болатын күндер саны 92-142 күндер аралығында өзгертінді, ал алап үшін орташа 128 күнді құрайды;

- Қар жамылғысы ылғал қоры 28,3 мм – 118,5 мм аралығында өзгертінді, алап үшін орташа 64 мм құрайды. Қар жамылғысының таралуы ендіктік заңдылыққа бағынатыны, алайда Сарысу өзені ағынының қалыптасуы аумағында, шыңдары 1000-1100 м-ден асатын Ақтау таулары орналасқан, жер бедерінің әсерінен заңдылық айтарлықтай бұзылады. Алаптың солтүстік бөлігінде, Сары Кеңгір өзені алабының ауданында және Сарысу өзенінің жоғарғы ағысында \overline{SWE}_{max} мәні 90-118 мм-ге дейін және алаптың оңтүстік бөлігінде 30-40 мм-ге азаяды;

- Нұра-Сарысу сушаруашылығы алабы үшін қар жамылғысындағы ылғал қоры аса ылғалды жылдары 75,2 мм жоғары, ылғалды жылдары 68,6 – 75,1 мм аралығында, ылғалдылығы орташа жылдары 58,1 – 68,7 мм, ылғал қоры тапшы жылдары 52,5 – 58,2 мм, аса тапшы жылдары 52,4 мм төмен болатындығы анықталды;

- статистикалық шамалардың есептеулері нәтижесі алапта қар жамылғысы максималды ылғал қоры 0,7 – 10,3 мм/10 жыл жылдамдығымен өскенін, сонымен бірге жекелеген метеорологиялық станцияларда 0,5 – 6,2 мм/10 жыл жылдамдығымен азайғандығын көрсетті. \overline{SWE}_{max} өсуінің статистикалық маңызды трендтері Ақсу-Аюлы және Қарағанды АШ станцияларында орын алғандығы анықталды. Ақсу-Аюлы станциясында қар жамылғысы ылғал қоры 10,3 мм/10 жыл жылдамдықпен өссе, Қарағанды АШ станциясында 6,2 мм/10 жыл жылдамдығымен азайғандығын байқауға болады;

Жалпы Нұра-Сарысу сушаруашылығы алабында алаптық деңгейде қар жамылғысы максималды ылғал қорының трендтері өзгеруі маңызды еместігі анықталды.

Әдебиеттер тізімі

1. Cohen J. & Entekhabi D. The influence of snow cover on northern hemisphere climate variability // ATMOSPHERE-OCEAN39 (1) 2001, 35-53. <https://doi.org/10.1080/07055900.2001.9649665>

2. Чурюлин Е.В., Копейкин В.В., Розинкина И.А., Фролова Н.Л., Чурюлина А.Г. Анализ характеристик снежного покрова по спутниковым и модельным данным для различных водосборов на Европейской территории Российской Федерации // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2018. № 2 (368). С. 120-143.

3. IPCC sixth assessment report. Working Group, I – The Physical Science Basis. Regional fact sheet - Asia. – 2021. – 2 r. (data obrashcheniya: 20.09.2021).

4. Gafurov, A., Kalashnikova, O., Niyazov, D., Mamaraimov, A., Gafurov, A., and Adkhamov, U.: Climate change-driven seasonal snow cover variations in Central Asia, EGU General Assembly 2022, Vienna, Austria, 23–27 May 2022, EGU22-12576, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-12576>, 2022.

5. Zhang, Q.; Chen, Y.; Li, Z.; Fang, G.; Xiang, Y.; Li, Y.; Ji, H. Recent Changes in Water Discharge in Snow and Glacier Melt-Dominated Rivers in the Tianshan Mountains, Central Asia. *Remote Sens.* 2020, 12, 2704. <https://doi.org/10.3390/rs12172704>
6. Kraaijenbrink, P.D.A., Stigter, E.E., Yao, T. et al. Climate change decisive for Asia's snow meltwater supply. *Nat. Clim. Chang.* 11, 591–597 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01074-x>
7. Qin, Y., Abatzoglou, J.T., Siebert, S. et al. Agricultural risks from changing snowmelt. *Nat. Clim. Chang.* 10, 459–465 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0746-8>
8. Wheeler, T. and von Braun, J.: Climate Change Impacts on Global Food Security, *Science*, 341, 508–513 (2013), <https://doi.org/10.1126/science.1239402>.
9. Pulliainen, J., Luoju, K., Derksen, C. et al. Patterns and trends of Northern Hemisphere snow mass from 1980 to 2018. *Nature* 581, 294–298 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2258-0>
10. Barnett, T., Adam, J. & Lettenmaier, D. Potential impacts of a warming climate on water availability in snow-dominated regions. *Nature* 438, 303–309 (2005). <https://doi.org/10.1038/nature04141>
11. Li Y., Tao H., Su B., Kundzewicz Z.W., Jiang T., Impacts of 1.5 °C and 2 °C global warming on winter snow depth in Central Asia, *Science of The Total Environment*, Volume 651, Part 2, 2019, Pages 2866-2873, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.126>.
12. Кешева Л.А. Математико-статистический анализ изменений режима осадков холодного периода в различных климатических зонах юга ЕТР и его прогноз методом сингулярно-спектрального анализа // диссертация на соискание ученой степени <https://www.dissercat.com/content/matematiko-statisticheskii-analiz-izmenenii-rezhima-osadkov-kholodnogo-perioda-v-razlichnykh>
13. Китаев Л.М., Разуваев В.Н., Мартуганов Р.А. Пространственные особенности межгодовых изменений взаимодействия полей параметров климата и снежного покрова севера Евразии // *Криосфера Земли*, 2001, т. V, № 4, с. 84–91.
14. Brown, R.D., Mote, P.W. The response of Northern Hemisphere snow cover to a changing climate // *J. Climate*, 2009, vol. 22, No. 8, p. 2124–2145.
15. Brown, R.D., Robinson, D.A. Northern Hemisphere spring snow cover variability and change over 1922–2010 including an assessment of uncertainty // *The Cryosphere*, 2011, vol. 5, p. 219–229, DOI: 10.5194/tc-5-219-2011.
16. Brown, R.D., Derksen, C. Is Eurasian October snow cover extent increasing? // *Environ. Res. Lett.*, 2013, No. 8, DOI: 10.1088/1748-9326/8/2/024006.
17. Шмакин А.Б. Климатические характеристики снежного покрова Северной Евразии и их изменения в последние десятилетия // *Лед и снег*, 2010, т. 50, № 1, с. 43–58.
18. Popova, V. Winter snow depth variability over northern Eurasia in relation to recent atmospheric circulation changes // *Intern. J. Climatology*, 2007, vol. 27, p. 1721–1733.
19. Bulygina, O., Groisman, P., Razuvaev, V., Korshunova, N. Changes in snow cover over Northern Eurasia since 1966 // *Environ. Res. Lett.*, 2011, No. 6, p. 1–10, DOI: 10.1088/1748-9326/6/4/045204.
20. Попова В.В. Структура многолетних колебаний высоты снежного покрова в Северной Евразии. - *Метеорология и гидрология*, 2004, № 8, с.78-88.
21. Razuvaev V.N., Bulygina O.N. Variations in snow characteristics over the Russian territory in recent decades. In *Proceedings of "1st Asia CliC Symposium"*, 20-22 April 2006, Yokohama, Japan. - p. 35-38.
22. Кауазов, А.М., Дара, А.С., Батырбаева, М.Ж., Витковская, И.С., Муратова, Н.Р., Сальников, В.Г., Турулина, Г.К., Полякова, С.Е., Спивак, Л.Ф., Тюребаева, С.И. (2016). Исследование дат схода снежного покрова в Северном Казахстане. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2016, № 13, 1, 161–168.
23. Сальников, В.Г., Турулина, Г.К., Таланов, Е.А., Полякова, С.Е., Кауазов, А.М., Воротынцева, В.В. Структура многолетних колебаний образования и разрушения снежного

покрова в Северном Казахстане. Труды гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации, 2015, № 358, с. 133–144.

24. Турулина, Г.К., Сальников, В.Г., Полякова, С.Е., Муратова, Н.Р. Современные тенденции продолжительности залегания снежного покрова в Северном Казахстане. Гидрометеорология и экология, 2013, № 3, 7–15.

25. Молдахметов, М.М., Махмудова, Л.К. Пространственно-временная изменчивость максимальной высоты снежного покрова на территории Северного и Центрального Казахстана. Гидрометеорология и экология, 2015, № 3, 28–37.

26. Тиллакарим, Т., Кауазов, А., Гафуров, А., (2023). Динамика изменения запасов воды в снежном покрове в Есильском водохозяйственном бассейне. Центральноазиатский журнал исследований водных ресурсов, 9(2), 1-16. <https://doi.org/10.29258/CAJWR/2023-R1.v9-2/1-16.rus>

27. Кауазов А., Тиллакарим Т., Сальников В., Полякова С. Оценка изменений площади снежного покрова в Казахстане с 2000 по 2022 год // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2023. Т. 20. №1. С. 298–305.

28. Лобанов, В.А., Жильцова, Е.Л., Лемешко, Н.А., Горлова, С.А., Ренева, С.А. Восстановление многолетних рядов температуры воздуха на европейской территории России. Метеорология и гидрология, 2005, № 2, 5–14.

29. Горошков И. Ф. Гидрологические расчеты. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 430 с.

30. Mudelsee M. Trend analysis of climate time series: a review of methods. Earth Sci. Rev. 2019, 190, 310–322. (doi:10.1016/j.earscirev.2018.12.005).

31. Blahušáková A., Matoušková M., Jenicek M., Ledvinka O., Kliment Z., Podolinská J., Snopková Z. Snow and climate trends and their impact on seasonal runoff and hydrological drought types in selected mountain catchments in Central Europe // HYDROLOGICAL SCIENCES JOURNAL, 2020, Vol. 65, No. 12, 2083-2096, <https://doi.org/10.1080/02626667.2020.1784900>

32. Ресурсы поверхностных вод районов освоения целинных и залежных земель. Выпуск 5. Северо-Казахстанская область Казахской ССР Под общей редакцией В.А. Урываева. Монография. Л.: Гидрометеиздат, 1960. — 420 с.

33. Байдал М.Х. Колебания режима ледников в связи с макроциркуляционными эпохами. // МГИ. – 1964. – Вып. 10. – С. 112-120.

References

1. Cohen J. & Entekhabi D. The influence of snow cover on northern hemisphere climate variability // ATMOSPHERE-OCEAN39 (1) 2001, 35-53. <https://doi.org/10.1080/07055900.2001.9649665>.

2. CHuryulin E.V., Kopejkin V.V., Rozinkina I.A., Frolova N.L., CHuryulina A.G. Analiz karakteristik snezhnogo pokrova po sputnikovym i model'nym dannym dlya razlichnyh vodosborov na Evropejskoj territorii Rossijskoj Federacii // Gidrometeorologicheskie issledovaniya i prognozy. 2018. № 2 (368). S. 120-143.

3. IPCC sixth assessment report. Working Group, I – The Physical Science Basis. Regional fact sheet - Asia. – 2021. – 2 r. (data obrashcheniya: 20.09.2021).

4. Gafurov, A., Kalashnikova, O., Niyazov, D., Mamaraimov, A., Gafurov, A., and Adkhamov, U.: Climate change-driven seasonal snow cover variations in Central Asia, EGU General Assembly 2022, Vienna, Austria, 23–27 May 2022, EGU22-12576, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-12576>, 2022.

5. Zhang, Q.; Chen, Y.; Li, Z.; Fang, G.; Xiang, Y.; Li, Y.; Ji, H. Recent Changes in Water Discharge in Snow and Glacier Melt-Dominated Rivers in the Tianshan Mountains, Central Asia. Remote Sens. 2020, 12, 2704. <https://doi.org/10.3390/rs12172704>

6. Kraaijenbrink, P.D.A., Stigter, E.E., Yao, T. et al. Climate change decisive for Asia's snow meltwater supply. Nat. Clim. Chang. 11, 591–597 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01074-x>

7. Qin, Y., Abatzoglou, J.T., Siebert, S. et al. Agricultural risks from changing snowmelt. *Nat. Clim. Chang.* 10, 459–465 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0746-8>
8. Wheeler, T. and von Braun, J.: Climate Change Impacts on Global Food Security, *Science*, 341, 508–513, <https://doi.org/10.1126/science.1239402>, 2013.
9. Pulliainen, J., Luojus, K., Derksen, C. et al. Patterns and trends of Northern Hemisphere snow mass from 1980 to 2018. *Nature* 581, 294–298 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2258-0>
10. Barnett, T., Adam, J. & Lettenmaier, D. Potential impacts of a warming climate on water availability in snow-dominated regions. *Nature* 438, 303–309 (2005). <https://doi.org/10.1038/nature04141>
11. Li Y., Tao H., Su B., Kundzewicz Z.W., Jiang T., Impacts of 1.5 °C and 2 °C global warming on winter snow depth in Central Asia, *Science of The Total Environment*, Volume 651, Part 2, 2019, Pages 2866–2873, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.126>
12. Kesheva L.A. Matematiko-statisticheskij analiz izmenenij rezhima osadkov holodnogo perioda v razlichnyh klimaticheskikh zonah yuga ETR i ego prognoz metodom singulyarno-spektral'nogo analiza // dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni <https://www.dissercat.com/content/matematiko-statisticheskii-analiz-izmenenii-rezhima-osadkov-kholodnogo-perioda-v-razlichnykh>
13. Kitaev L.M., Razuvaev V.N., Martuganov R.A. Prostranstvennye osobennosti mezhdodovyh izmenenij vzaimodejstviya polej parametrov klimata i snezhnogo pokrova severa Evrazii // *Kriosfera Zemli*, 2001, t. V, № 4, s. 84–91.
14. Brown, R.D., Mote, P.W. The response of Northern Hemisphere snow cover to a changing climate // *J. Climate*, 2009, vol. 22, No. 8, p. 2124–2145.
15. Brown, R.D., Robinson, D.A. Northern Hemisphere spring snow cover variability and change over 1922–2010 including an assessment of uncertainty // *The Cryosphere*, 2011, vol. 5, p. 219–229, DOI: 10.5194/tc-5-219-2011.
16. Brown, R.D., Derksen, C. Is Eurasian October snow cover extent increasing? // *Environ. Res. Lett.*, 2013, No. 8, DOI: 10.1088/1748-9326/8/2/024006.
17. SHmakin A.B. Klimaticheskie harakteristiki snezhnogo pokrova Severnoj Evrazii i ih izmeneniya v poslednie desyatiletija // *Led i sneg*, 2010, t. 50, № 1, s. 43–58.
18. Popova, V. Winter snow depth variability over northern Eurasia in relation to recent atmospheric circulation changes // *Intern. J. Climatology*, 2007, vol. 27, p. 1721–1733.
19. Bulygina, O., Groisman, P., Razuvaev, V., Korshunova, N. Changes in snow cover over Northern Eurasia since 1966 // *Environ. Res. Lett.*, 2011, No. 6, p. 1–10, DOI: 10.1088/1748-9326/6/4/045204.
20. Popova V.V. Struktura mnogoletnih kolebanij vysoty snezhnogo pokrova v Severnoj Evrazii. - *Meteorologiya i gidrologiya*, 2004, № 8, s.78-88.
21. Razuvaev V.N., Bulygina O.N. Variations in snow characteristics over the Russian territory in recent decades. In *Proceedings of "1st Asia CliC Symposium"*, 20-22 April 2006, Yokohama, Japan. - p. 35-38.
22. Kauazov, A.M., Dara, A.S., Batyrbaeva, M.ZH., Vitkovskaya, I.S., Muratova, N.R., Sal'nikov, V.G., Turulina, G.K., Polyakova, S.E., Spivak, L.F., Tyurebaeva, S.I. (2016). Issledovanie dat skhoda snezhnogo pokrova v Severnom Kazahstane. *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2016, № 13, 1, 161–168.
23. Sal'nikov, V.G., Turulina, G.K., Talanov, E.A., Polyakova, S.E., Kauazov, A.M., Vorotynceva, V.V. Struktura mnogoletnih kolebanij obrazovaniya i razrusheniya snezhnogo pokrova v Severnom Kazahstane. *Trudy gidrometeorologicheskogo nauchno-issledovatel'skogo centra Rossijskoj Federacii*, 2015, № 358, s. 133–144.
24. Turulina, G.K., Sal'nikov, V.G., Polyakova, S.E., Muratova, N.R. Sovremennye tendencii prodolzhitel'nosti zaleganiya snezhnogo pokrova v Severnom Kazahstane. *Gidrometeorologiya i ekologiya*, 2013, № 3, 7–15.

25. Moldahmetov, M.M., Mahmudova, L.K. Prostranstvenno-vremennaya izmenchivost' maksimal'noj vysoty snezhnogo pokrova na territorii Severnogo i Central'nogo Kazahstana. *Gidrometeorologiya i ekologiya*, 2015, № 3, 28–37.

26. Tillakarim, T., Kauazov, A., Gafurov, A., (2023). Dinamika izmeneniya zapasov vody v snezhnom pokrove v Esil'skom vodohozyajstvennom bassejne. *Central'noaziatskij zhurnal issledovanij vodnyh resursov*, 9(2), 1-16. <https://doi.org/10.29258/CAJWR/2023-R1.v9-2/1-16.rus>

27. Kauazov A., Tillakarim T., Sal'nikov V., Polyakova S. Ocenka izmenenij ploshchadi snezhnogo pokrova v Kazahstane s 2000 po 2022 god // *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2023. T. 20. №1. S. 298–305.

28. Lobanov, V.A., ZHil'cova, E.L., Lemeshko, N.A., Gorlova, S.A., Reneva, S.A. Vosstanovlenie mnogoletnih ryadov temperatury vozduha na evropejskoj territorii Rossii. *Meteorologiya i gidrologiya*, 2005, № 2, 5–14.

29. Goroshkov I. F. *Gidrologicheskie raschety*. – L.: Gidrometeoizdat, 1979. – 430 s.

30. Mudelsee M. 2019 Trend analysis of climate time series: a review of methods. *Earth Sci. Rev.* 190, 310–322. (doi:10.1016/j.earscirev.2018.12.005).

31. Blahušiaková A., Matoušková M., Jenicek M., Ledvinka O., Kliment Z., Podolinská J., Snopková Z. Snow and climate trends and their impact on seasonal runoff and hydrological drought types in selected mountain catchments in Central Europe // *HYDROLOGICAL SCIENCES JOURNAL*, 2020, Vol. 65, No. 12, 2083-2096. <https://doi.org/10.1080/02626667.2020.1784900>

32. Resursy poverhnostnyh vod rajonov osvoeniya celinnyh i zaleznyh zemel'. Vypusk 5. Severo-Kazahstanskaya oblast' Kazahskoj SSR Pod obshchej redakciej V.A. Uryvaeva. – Monografiya. – L.: Gidrometeoizdat, 1960. — 420 s.

33. Bajdal M.H. Kolebaniya rezhima lednikov v svyazi s makrocirkulyacionnymi epochami. // *MGI*. – 1964. – Вып. 10. – S. 112-120.

Т.А. Тиллакарим^{1,2*}[ORCID](#), *А.М. Кауазов*¹[ORCID](#), *А. Гауфров*³[ORCID](#), *С.Б. Саиров*²[ORCID](#)

¹ *Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан, tillakarimtursyn@gmail.com*, kauazov.azamat@kaznu.kz*

² *РГП «Казгидромет», Астана, Казахстан, sairov_s@meteo.kz*

³ *Немецкий исследовательский центр наук о земле (GFZ), Потсдам, Германия, gafurov@gfz-potsdam.de*

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЕ ИЗМЕНЕНИЕ ЗАПАСОВ ВОДЫ В СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ В НУРА-САРЫСУЙСКОМ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОМ БАССЕЙНЕ

Аннотация

В статье представлены установление, разрушение, количество дней с устойчивым снежным покровом и пространственно-временные изменения запасов воды в снежном покрове и его статистические характеристики в Нура-Сарысуйском водохозяйственном бассейне. Основной целью работы является изучение динамики изменения запасов влаги снежного покрова, поскольку снежный покров играет важную роль в климатических, гидрологических и гляциологических процессах, а также является мощным климатическим фактором. С этой целью в исследовательской работе использованы данные 14 метеорологических станций государственной наблюдательной сети РГП «Казгидромет», расположенные на территории водохозяйственного бассейна за 1971-2019 гг. Анализ проводился с использованием методов математической статистики: путем сравнения средних многолетних значений за два последовательных периода: базовый – 1971-1995 гг. и современный – 1996-2019 гг.; для определения тенденции изменения использовались методы линейной аппроксимации временных рядов и непараметрический тест Манна-Кендалла. В результате исследования выявлено, что устойчивый снежный покров в бассейне устанавливается в конце октября, начале ноября, а полное разрушение приходится на первые декады апреля. Количество дней со снежным покровом составляет в среднем 128 дней. Установлено, что установление и разрушение устойчивого снежного покрова, количество

дней имеют зональную закономерность. Также определено что, запасы воды в снежном покрове в бассейне колеблются от 28,3 мм (Акадыр) до 118,5 мм (Кызылту), а среднеплощадное многолетнее значение составляет 64,0 мм. Запасы влаги для бассейна за период 1971-2019 гг. на каждые 10 лет наблюдается статистически не значимое увеличение на 0,96 мм. Статистически значимое увеличение наблюдается только на станции Аксу-Аюлы (10,3 мм/10 лет), а уменьшение наблюдается на станции Караганды СХ (6,2 мм/10 лет). Упомянутые важные тренды также были выявлены с помощью непараметрического трендового теста Манна-Кендалла. На остальных станциях изменения запасов воды в снежном покрове были статистически не значимы.

Ключевые слова: климат, снежный покров, тренд, сравнительный анализ, тест Манна-Кендалла, Казахстан

T. Tillakarim^{1,2*}[ORCID](#), **A. Kauazov**¹ [ORCID](#), **A. Gaforov**³ [ORCID](#), **S. Sairov**² [ORCID](#)

¹ *al-Farabi Kazakh National university, Almaty, Kazakhstan, tillakarimtursyn@gmail.com*,
kauazov.azamat@kaznu.kz*

² *RSE «Kazhydromet», Astana, Kazakhstan, sairov_s@meteo.kz*

³ *GFZ German Research Centre for Geosciences, Potsdam, Germany, gafurov@gfz-potsdam.de*

SPATIO-TEMPORAL CHANGES OF SNOW WATER EQUIVALENT IN THE NURA-SARYSUY WATER MANAGEMENT BASIN

Abstract

The article presents the establishment, destruction, the number of days with stable snow cover and spatio-temporal changes of snow water equivalent and its statistical characteristics in the Nura-Sarysu water management basin. The main purpose of the research is to study the dynamics of changes in snow water equivalent, since snow plays an important role in climatic, hydrological and glaciological processes, and is also a powerful climatic factor. For this purpose, in research work used data from 14 meteorological stations of the state observation network of RSE "Kazhydromet", located in the water management basin for the period 1971-2019. The analysis was carried out using the methods of mathematical statistics: by comparing the average long-term values for two successive periods: base - 1971-1995 and modern - 1996-2019; to determine the trend of change were used the methods of linear approximation of time series and the nonparametric Mann-Kendall test. As a result of the study, it was revealed that a stable snow cover in the basin is established in late October, early November, and complete destruction occurs in the first decades of April. The number of days with snow cover averages 128 days. It has been established that the establishment and destruction of a stable snow cover, the number of days have a zonal pattern. It was also determined that the snow water equivalent in the basin range from 28.3 mm (Akadyr) to 118.5 mm (Kyzyltu), and the long-term average for area value is 64.0 mm. Snow water equivalent for the basin for the period 1971-2019 for every 10 years there is a statistically insignificant increase of 0.96 mm. A statistically significant increase is observed only at the Aksu-Aiuly station (10.3 mm/10 years), while a decrease is observed at the Karaganda SH station (6.2 mm/10 years). These important trends were also identified using the Mann-Kendall trend test. At other stations, changes in snow water equivalent were not statistically significant.

Key words: climate, snow cover, trend, comparative analysis, Mann-Kendall test, Kazakhstan